

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra energetiky

Návrh zařízení pro snížení emisí oxidů síry na výstupu
z teplárenského zdroje.

Design Equipment to Reduce Sulfur Oxide Emissions
at the Outlet of Heat Generation Source.

Student : Bc. Miroslav Pajchl

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Bohumír Čech, CSc.

Ostrava 2013

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Miroslav Pajchl**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2302T006 Energetické stroje a zařízení
Téma: **Návrh zařízení pro snížení emisí oxidů síry na výstupu
z teplárenského zdroje**
**Design Equipment to Reduce Sulfur Oxide Emissions at the Outlet
of Heat Generation Source**

Zásady pro vypracování:

Navrhnete zařízení pro snížení koncentrace síry ve spalinách na výstupu z teplárenského zdroje o tepelném výkonu 2 x 55,3 MW pro splnění emisního limitu 200 mg.m⁻³_N.

Diplomová práce bude obsahovat:

1. Základní technický popis stávajícího zdroje a jeho parametry.
2. Stručnou rešerši reálných odsiřovacích zařízení pro tento zdroj.
3. Základní bilanční výpočty množství spalin a hmotových toků síry a sorbentu.
4. Výběr a technický popis vhodné varianty odsíření.
5. Návrh rozměrů a dimenzování základních zařízení pro vybrané odsíření.
6. Zhodnocení zařízení ve vazbě na snížení TZL a těžkých kovů.

Grafická část:

Výkresová dokumentace sestavy vybrané varianty odsíření.

Seznam doporučené odborné literatury:

ČERNÝ, V. a kol. *Parní kotle a spalovací zařízení*. SNTL Praha, 1975.
KOLAT, P. *Přenos tepla a hmoty*. Skripta VŠB-TU Ostrava, 1986.
DLOUHÝ, T. *Výpočty kotlů a spalínových výměníků*. Skripta ČVUT Praha, 2005.
Zprávy katedry energetiky z měření kotlů v Elektrárně Třebovice

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Dr. Ing. Bohumír Čech**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013





prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci, včetně příloh, vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 9. 5. 2013




.....
Bc. Miroslav Pajchl

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35- užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60- školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB -TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB -TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB -TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - diplomovou práci nebo poskytnou licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č.111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákony o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledky její obhajoby.

V Ostravě: 9. 5. 2013



.....
Podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Miroslav Pajchl

Adresa trvalého pobytu autora:

Opavská 6125, 708 00 Ostrava

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Bohumírovi Čechovi, CSc. za odborné vedení mé práce a pracovníkům firmy Rafako. S.A., za poskytnuté informace při zpracování diplomové práce.

Bc. Miroslav Pajchl

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

PAJCHL M. Návrh zařízení pro snížení emisí oxidů síry na výstupu z teplárenského zdroje.

Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2013, 89 stran.

Vedoucí práce: doc. Ing. Bohumír Čech, CSc.

Diplomová práce řeší případ aplikace odsiřovacího zařízení na kotlích K 3 a 4 v Elektrárně Třebovice, které při spalování černého uhelného prachu bez použití odsiřování spalin nejsou schopny plnit emisní limity dané současnou legislativou. V první části diplomové práce je popsán kotel a jeho technické vybavení, dále pak nakládání s vedlejšími energetickými produkty při stávajícím provozu. Ve druhé části je uveden stručný popis základních odsiřovacích metod, které se používají v energetice. Ve třetí části jsou uvedeny výpočty, popis odsiřovací metody využívající technologii polosuchého odsiřování, základní konstrukční popis jednotlivých strojních částí a návrhu způsobu nakládání s vedlejšími energetickými produkty. Třetí část práce je věnovaná výpočtům, popisu odsiřovací metody využívající technologii polosuchého odsiřování, včetně základního konstrukčního popisu jednotlivých strojních částí a návrhu způsobu nakládání s vedlejšími energetickými produkty, při použití této metody na snížení SO₂.

ANOTATION OF DIPLOMA WORK

PAJCHL M. Design Equipment to Reduce Sulfur Oxide Emissions at the Outlet of Heat Generation Source.

VSB - Technical University of Ostrava, Faculty of Engineering, Department of Energy, 2013

Bachelor thesis, Head: doc. Ing. Bohumír Čech, CSc.

The final thesis deals with application of desulfurization equipment on boilers K 3 and 4 in the Třebovice Power Plant which are not able to comply with the emission limits given by the legislation when fired by coal powder without flue gas desulfurization technology. The first part of the final thesis describes the boiler and its electric equipment and also handling of the by-products of power generation in the existing operation scheme. The second part provides a brief description of the basic desulfurization methods used in power generation industry. The third part includes calculations, a description of a desulfurization method using a semi-dry desulfurization technology, a basic description of the design of the individual mechanical parts and the proposed handling of the by-products of power generation when using this method of SO₂ reduction.

Obsah diplomové práce

| | | |
|--------|--|----|
| 1. | Úvod..... | 13 |
| 2. | Technický popis kotle, navazující trasy spalin a popílku K 3 a 4 ETB | 14 |
| 2.1 | Výrobní data kotle | 14 |
| 2.2 | Technická data kotle..... | 14 |
| 2.2.1 | Množství vyrobené páry..... | 14 |
| 2.2.2 | Tlak přehřáté páry na výstupu z kotle | 15 |
| 2.2.3 | Teplota přehřáté páry na výstupu z kotle | 15 |
| 2.2.4 | Teplota napájecí vody..... | 15 |
| 2.2.5 | Údaje o palivu, spotřební normy | 15 |
| 2.3 | Stručný popis kotle | 16 |
| 2.3.1 | Odpařovací systém..... | 16 |
| 2.3.2 | Napájení kotle..... | 17 |
| 2.3.3 | Ohřívák napájecí vody (EKO) | 18 |
| 2.3.4 | Výparník | 18 |
| 2.3.5 | Přehřívák č. 1..... | 19 |
| 2.3.6 | Přehřívák č. 2 – Sálavý..... | 19 |
| 2.3.7 | Přehřívák č. 3..... | 19 |
| 2.3.8 | Výstup páry z kotle | 19 |
| 2.3.9 | Zařízení na přípravu uhelného prášku | 20 |
| 2.3.10 | Práškové hořáky..... | 20 |
| 2.3.11 | Brýdové hořáky..... | 21 |
| 2.3.12 | Spalovací vzduch..... | 21 |
| 2.3.13 | Kouřové plyny..... | 22 |
| 2.3.14 | Elektrostatický odlučovač popílku | 22 |
| 2.3.15 | Kouřový ventilátor..... | 23 |
| 2.3.16 | Odstrukování ohniště | 24 |
| 3. | Nakládání s vedlejšími energetickými produkty kotle K 3 a 4 ETB..... | 24 |
| 4. | Základní metody snižování emisí SO ₂ , jejich výhody a nevýhody | 24 |
| 4.1 | Snižování obsahu síry v uhlí..... | 25 |
| 4.1.1 | Mechanická separace pyritické síry | 25 |
| 4.1.2 | Chemické postupy | 25 |
| 4.1.3 | Biologické odstraňování..... | 26 |
| 4.2 | Odsiřování spalin..... | 26 |
| 4.2.1 | Mokrý odsíření..... | 27 |
| 4.2.2 | Polosuchý odsíření..... | 28 |

| | | |
|--------|--|----|
| 4.2.3 | Suchá aditivní vápencová metoda | 29 |
| 4.2.4 | Suché odsíření hydrogenuhlíčanem sodným..... | 30 |
| 5. | Určení množství spalin a spotřeby reagentu..... | 31 |
| 5.1. | Parametry paliva | 31 |
| 5.2. | Přepočet prvkového rozboru na surový stav..... | 32 |
| 5.3. | Výpočet účinnosti kotle..... | 33 |
| 5.3.1. | Entalpie spalin a vzduchu | 33 |
| 5.3.2. | Tepelné ztráty kotle | 34 |
| 5.3.3. | Ztráta mechanickým nedopalem..... | 35 |
| 5.3.4. | Ztráta chemickým nedopalem..... | 36 |
| 5.3.5. | Ztráta sáláním a vedením tepla do okolí | 37 |
| 5.3.6. | Ztráta fyzickým teplem tuhých zbytků | 37 |
| 5.3.7. | Ztráta citelným teplem spalin | 38 |
| 5.3.8. | Účinnost kotle | 39 |
| 5.4. | Výpočet spotřeby paliva pro jmenovitý výkon | 40 |
| 5.5. | Výpočet spalovacího procesu..... | 40 |
| 6. | Metoda pro snížení emisí SO_2 vhodná pro kotel K 3 a 4 ETB, včetně úprav na spalinovodech. | 59 |
| 6.1. | Odsiřovací jednotka pro kotle K3 a K4..... | 59 |
| 6.1.1. | Jmenovité množství a parametry spalin, na které se dle požadavku Provozovatele jednotka navrhuje | 59 |
| 6.1.2. | Základní technický popis..... | 60 |
| 6.1.3. | Látkový filtr | 62 |
| 6.1.4. | Posilovací kouřový ventilátor | 64 |
| 7. | Návrh pomocného ventilátoru spalin..... | 65 |
| 7.1 | Celková tlaková ztráta mezi body A a B - Δp_{AB} | 66 |
| 7.1.1. | Výpočet Δp_{K1} – tlaková ztráta při průtoku spalin přes potrubí spalin mezi ventilátorem spalin a reaktorem. | 67 |
| 7.1.2. | Výpočet Δp_{K2} – tlaková ztráta v potrubí spalin mezi látkovým filtrem a pomocným ventilátorem spalin. | 71 |
| 7.1.3. | Výpočet Δp_{K3} – tlaková ztráta v potrubí spalin mezi pomocným ventilátorem spalin a komínem..... | 75 |
| 7.1.4. | Parametry nového ventilátoru | 78 |
| 8. | Způsob nakládání s vedlejšími energetickými produkty kotle K 3 a 4 při použití nové metody snižování emisí SO_2 | 79 |
| 8.1 | Škvára a popílek..... | 79 |
| 8.2 | Vedlejší produkt po odsíření (VPR) | 80 |

| | | |
|-------|---------------------------------|----|
| 8.2.1 | Popis VPR..... | 80 |
| 8.2.2 | Fyzikální vlastnosti VPR..... | 80 |
| 8.2.3 | Chemické vlastnosti VPR..... | 81 |
| 8.2.4 | Skladování VPR | 81 |
| 8.2.5 | Využití VPR | 82 |
| 9. | Závěr..... | 82 |
| 10. | Seznam použité literatury | 83 |
| 11. | Seznam obrázku | 84 |
| 12. | Seznam tabulek..... | 84 |
| 13. | Seznam příloh | 84 |

Seznam použitých veličin

| | | |
|---------------------------|---|--------------------|
| A | popel | [%] |
| C | uhlík | [%] |
| m_{pal} | množství paliva | [kg/s] |
| m_{s} | množství síry (hmotnostní tok) | [kg/s] |
| N | dusík | [%] |
| O | kyslík | [%] |
| p_{c} | tlak vzduchu | [kPa] |
| Q_{i}^{r} | výhřevnost paliva | [MJ/kg] |
| Q_{k} | výkon kotle | [MW _t] |
| S | síra | [%] |
| t_{vz} | teplota vzduchu | [°C] |
| W | voda | [%] |
| φ | relativní vlhkost | [%] |
| i | entalpie | [kJ/kg] |
| Z_{c} | ztráta mechanickým nedopalem | [%] |
| Z_{CO} | ztráta chemickým nedopalem | [%] |
| Z_{sv} | ztráta sáláním a vedením tepla do okolí | [%] |
| Z_{f} | ztráta fyzickým teplem tuhých zbytků | [%] |
| Z_{k} | ztráta citelným teplem spalin (komínová ztráta) | [%] |
| Z_{C} | celková ztráta | [%] |
| η_{k} | účinnost kotle | [%] |

Seznam použitých indexů

| | |
|-----|--------------------------------------|
| sk | skutečné |
| s | stechiometrie |
| r | surový (spalovaný stav) |
| daf | hořlavina (palivo bez vody a popela) |
| d | sušina, suchý stav |
| vz | vzduch |
| pop | popílek |
| min | minimální |
| pal | paliva |
| cel | celkový |
| red | redukováná |

Seznam použitých zkratek

| | |
|-------|------------------------------|
| ETB | Elektrárna Třebovice |
| CHÚV | Chemická úprava vody |
| K 3,4 | Kotel K 3 a 4 |
| LTO | Lehký topný olej |
| MLO | Mlýnský okruh |
| VPR | Vedlejší produkt po odsíření |
| VŠB | Vysoká škola báňská |
| VTN | Vysokotlaká nádrž |
| TG 33 | Turbogenerátor č. 33 |
| ZUP | Zásobník uhlénoho prášku |

1. Úvod

Spalováním fosilních paliv při výrobě elektrické a tepelné energie dochází k uvolňování různých znečišťujících látek, které mají negativní vliv na životní prostředí. Jednou skupinou znečišťujících látek jsou oxidy síry, které vznikají hořením spalitelné síry obsažené v palivu. Množství produkce oxidů síry nelze nijak ovlivnit řízením spalovacího procesu. Jedná se o jedny z nejnebezpečnějších škodlivin vznikajících spalováním uhlí. Oxidy síry mají toxické vlastnosti na flóru i faunu již v malých koncentracích kolem 0,5 až 0,7 mg/m³. Oxidy síry přímo působí i na zařízení elektrárny, a to zejména na spalínový trakt, u kterého může při snížení teploty spalin pod rosný bod dojít ke kondenzaci vody obsažené ve spalinách a její reakci s oxidy síry. Následkem této reakce vzniká H₂SO₄, která způsobuje nadměrnou korozi strojních součástí spalínového traktu. Z těchto důvodů je nezbytné vypouštění oxidů síry snížit na co nejmenší úroveň. Pro snižování oxidů síry je ve světě známo mnoho metod, které jsou v různých stadiích vývoje.

U nově zřizovaných elektrárenských bloků je již vybudování odsiřovacích zařízení dáno legislativou. U stávajících zařízení je nutné vybudovat odsiřovací zařízení dodatečně tak aby i ony splňovaly požadavky dané legislativou. Při zřizování dodatečných odsiřovacích zařízení je důležité vzít v úvahu aspekty, jako jsou například: pořizovací náklady, provozní náklady, životnost stávajícího zařízení, prostorové možnosti a mnoho dalších, podle kterých se určí vhodný druh odsiřovací metody.

Tato diplomová práce řeší případ aplikace odsiřovacího zařízení na kotlích K 3 a 4 v Elektrárně Třebovice, které při spalování černého uhlého prachu bez použití odsiřování spalin nejsou schopny plnit emisní limity dané současnou legislativou.

V první části diplomové práce je popsán kotel K 3 a 4 a jeho technické vybavení, dále pak nakládání s vedlejšími energetickými produkty při stávajícím provozu. Ve druhé části je uveden stručný popis základních odsiřovacích metod, které se nejčastěji používají v energetice. Ve třetí části jsou uvedeny výpočty, popis odsiřovací metody využívající technologii polosuchého odsiřování, základní konstrukční popis jednotlivých strojních částí a návrhu způsobu nakládání s vedlejšími energetickými produkty.

2. Technický popis kotle, navazující trasy spalin a popílků K 3 a 4 ETB

2.1 Výrobní data kotle

K 3

| | |
|--------------------|----------------------------------|
| výrobní číslo: | 3099 |
| rok výroby: | 1963 |
| do provozu uveden: | 22.7.1964 |
| Výrobce: | Vítkovické železářny a strojírny |

K 4

| | |
|--------------------|----------------------------------|
| výrobní číslo: | 3098 |
| rok výroby: | 1963 |
| do provozu uveden: | 13.6.1964 |
| Výrobce: | Vítkovické železářny a strojírny |

2.2 Technická data kotle

| | |
|-----------------|----------------------|
| Jmenovitý výkon | 55,3 MW _t |
| Minimální výkon | 38 MW _t |

2.2.1 Množství vyrobené páry

| | |
|-----------------------|--|
| Při jmenovitém výkonu | 80 t.h ⁻¹ (22,22 kg.s ⁻¹) |
| Při minimálním výkonu | 55 t.h ⁻¹ (15,27 kg.s ⁻¹) |
| Konstrukční tlak: | 17,33 MPa |
| Výpočtový přetlak: | 13,4 MPa |

2.2.2 Tlak přehřáté páry na výstupu z kotle

| | |
|-----------|-----------|
| Jmenovitý | 12,75 MPa |
| Maximální | 13,23 MPa |

2.2.3 Teplota přehřáté páry na výstupu z kotle

| | |
|-----------|---|
| Jmenovitá | $T_{\text{jmenovitá}} = 500 \text{ }^{\circ}\text{C}$ |
| Maximální | $T_{\text{max}} = 508 \text{ }^{\circ}\text{C}$ |
| Minimální | $T_{\text{min}} = 492 \text{ }^{\circ}\text{C}$ |

2.2.4 Teplota napájecí vody

| | |
|-----------|------------------------------|
| Jmenovitá | 170 - 180 $^{\circ}\text{C}$ |
| Maximální | 200 $^{\circ}\text{C}$ |

2.2.5 Údaje o palivu, spotřební normy

Uhlí - hlavní palivo, LTO - doplňkové palivo.

| | |
|-------------------------|-------------------------------|
| Spotřeba uhlí | 15 t.h ⁻¹ (1x MLO) |
| Výhřevnost projektovaná | 24 ± 1 MJ.kg ⁻¹ |

| Vlastnost: | Rozměr: | Hodnota: | |
|---------------------------|------------------------|-------------|------------------|
| Pevné - černé uhlí | | černý prach | proplástek, kaly |
| Surové - Q ^r | [MJ.kg ⁻¹] | 21,5 - 28,9 | 16,5 - 23,2 |
| W ^r | [%] | 2,4 - 8,8 | 5,0 - 11,9 |
| A ^r | [%] | 8,8 - 28,9 | 22,8 - 43,0 |
| S ^r | [%] | 0,27 - 0,65 | 0,27 - 0,65 |
| Bod deformace ID | [$^{\circ}\text{C}$] | 1265 – 1445 | 1305 – 1320 |
| Bod měknutí ST | [$^{\circ}\text{C}$] | 1280 – 1460 | 1280 – 1345 |
| Bod taní HT | [$^{\circ}\text{C}$] | 1330 – 1480 | 1370 - 1385 |
| Bod tečení FT | [$^{\circ}\text{C}$] | 1405 – 1510 | 1395 – 1480 |

Kapalné – LTO

| | | |
|---------------------------------|-------------------------------------|-------------|
| Výhřevnost | [MJ.kg ⁻¹] | 41 - 43,3 |
| Hustota při 20 °C | [kg.m ⁻³] | 830 - 910 |
| Kinematická viskozita při 40 °C | [mm ² .s ⁻¹] | 3,2 - 18,0 |
| Bod vzplanutí | [°C] | 55 - 90 |
| Bod tuhnutí | [°C] | -15 |
| Obsah síry | [%] | 0,2 - 1,0 |
| Obsah vody | [%] | 0,01 - 0,50 |
| Obsah mech.nečistot | [%] | 0,01 - 0,12 |
| Popel (po spálení) | [%] | 0,01 - 0,10 |

2.3 Stručný popis kotle

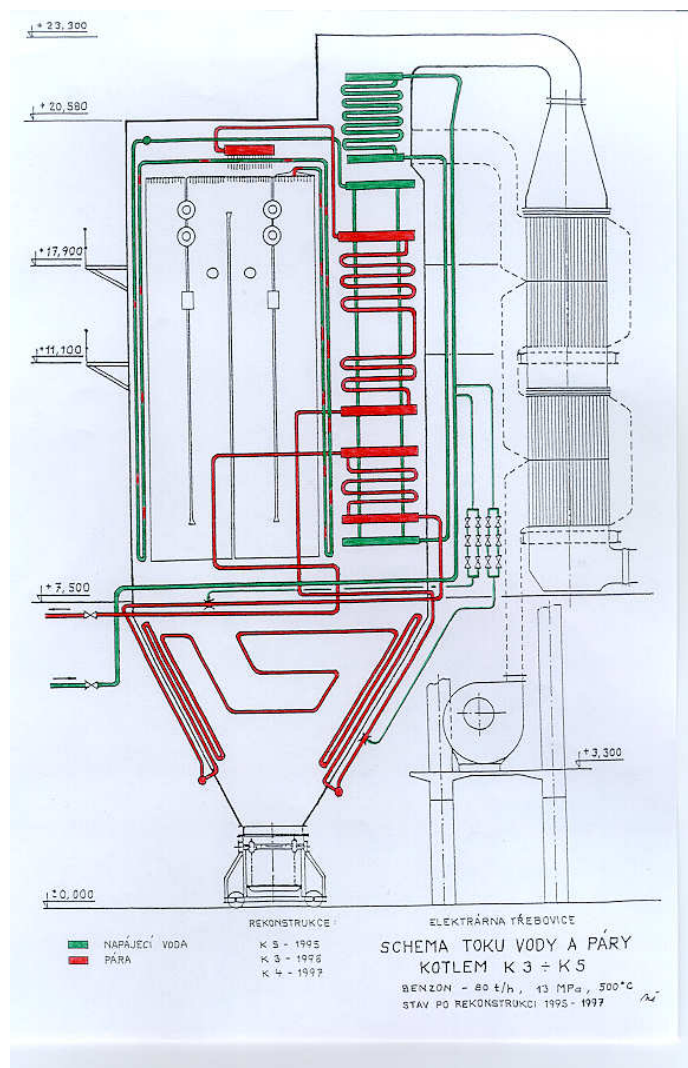
2.3.1 Odpařovací systém

Parní kotel průtlačný, granulační s najížděcí nádobou. Ohniště je práškové s osmi kruhovými práškovými hořáky. K najíždění kotle a zapálení uhelného prášku slouží dva LTO hořáky OERTLI.

Strop kotle je vychlazený, stěny spalovací komory membránové. Přední stěna, zadní strana (mezistěna) jsou tvořeny 6-ti násobným meandrem, levá a pravá boční stěna jsou tvořeny 4 násobným meandrem. Mezistěna dělí spalovací komoru na dvoutahovou. Výsypka je vyplněna meandrovitě vinutými svazky trubek, které tvoří 2. přehřívák páry. Pod svazky trubek je výsypka zaústěna do granulační nádrže vynášeče škváry. Ve II. tahu kotle je umístěn 3. a 1. přehřívák páry, závěsné trubky, EKO. V kanále III. tahu je umístěn dvojité ohřívák vzduchu.

Na straně kouřových plynů je kotel vybaven elektrostatickým odlučovačem, na který navazuje axiální kouřový ventilátor. Odlučovač je horizontální, čtyřsekční s ocelovou skříní. Popílek je z odlučovače odváděn hydrosměsí do bagrovací stanice.

Dva sekundární ventilátory zajišťují potřebné množství spalovacího vzduchu. Dva primární ventilátory dodávají potřebný tlak vzduchu pro dopravu uhelného prášku z podavače uhelného prášku do kotle. Součástí kotle je mlýnice, mlecí okruh je uzavřený s jedním trubnatým mlýnem s mezibunkrováním prášku a sušením paliva kouřovými plyny. Na stropě zásobníků uhelného prášku je instalován šnekový dopravník, sloužící k dopravě uhelného prášku ze svodek pod turnikety do libovolného ZUP. Odstruskování kotle je umístěno pod spalovací komorou kotle a sestává se z řetězového vynášeče a drtiče škváry. Schéma kotle je na obrázku 2.1.



Obrázek 2.1 – Schéma kotle

2.3.2 Napájení kotle

Napájecí vodu pro K 3 a 4 tvoří z převážné části kondenzát páry doplňované demivodou z CHÚV. Do nízkotlakých nádrží NTN č. 331, 332 vstupují přes rozdělovač TG 33 - kondenzát páry z kondenzátoru TG 33, kondenzát páry z VTO č. 5 a výměňkové stanice, napájecí voda z RK 33. Z těchto nádrží je napájecí voda dopravována vysokotlakými kondenzátními čerpadly č. 331-334 do vysokotlakých nádrží VT č. 1, 2, 3 a odtud vysokotlakými elektrickými napájecími čerpadly (VTN) 4, 5, 6, 7 a dvěma napájecími větvemi (Benzonová, Společná) přes napájecí předlohy do kotlů K 3, 4, 5.

Pro kotle K 3, 4 jsou instalovány dvě napájecí větve - Benzonová a Společná, umožňující volbu provozu některé z těchto větví. Z každé větve je kotel napájen přes uzavírací šoupátko se středovým jištěním do obtoku opatřené servopohonem. Napájecí

větvě jsou opatřeny odvodňovacími a odvzdušňovacími armaturami. Vypouštění je zavedeno do kanálu chladící vody kotelny.

2.3.3 Ohřívák napájecí vody (EKO)

Je zavěšen na příčných nosnících mezi kótou 19,6m a 22,0 m na výstupu kouřových plynů ze II. tahů, proveden jako ležatý konvenční. Napájecí voda vystupuje komorami KE 2L, KE 2P. Trámce konstrukce ohříváku napájecí vody jsou chlazeny sekundárním vzduchem potrubím \varnothing 245 x 6,5 mm, které jde po pravé a levé straně kotle a je napojeno z výtoku sekundárního ventilátoru před LUVO I.

2.3.4 Výparník

Z komory KZ 2 vystupuje voda vně kotle po levé straně do komory K 1 umístěné na přední stěně. Z komory K 1 vstupuje voda 22 trubkami membránové stěny \varnothing 35 x 4,5 mm do přední stěny kotle, která je tvořena 6-ti násobným meandrem a vystupuje nad stropem spalovací komory na kótě 19,0 m po levé a pravé straně 11 trubkami. Dále vstupuje do zadní stěny spalovací komory, která je opět tvořena 6-ti násobným meandrem. Prochází zadní stěnou spalovací komory a vystupuje z jejího středu 22 trubkami \varnothing 38 x 4,5 mm přes netopený prostor stropu kotle do levé boční stěny tvořené čtyřmi meandry. Odtud je převáděna tvořící se parovodní směs 22 neotápěnými trubkami nad stropem kotle do pravé boční stěny spalovací komory tvořené čtyřmi meandry. Z pravé boční stěny vstupuje parovodní směs do stropu spalovací komory, tvořeného horizontálně vinutými meandry z volných trubek \varnothing 44,5 x 5 mm, z nichž každá druhá (střídavě v jednotlivých meandrech) je opatřena praporky. Parovodní směs, měnící se ve stropu spalovací komory v přehřátou páru, protéká postupně (při pohledu z čela kotle) 1., 2. a 3. meandrem, z něhož vystupuje do komory K 2 umístěné nad stropem spalovací komory na kótě 19,9 m. K zajištění stability proudění je každá z 22 trubek na výstupu z komory K 1 opatřena dvěma clonkami \varnothing 7 a 6,5 mm, před komorou K 2 je napojené měření teplot trubek výparníku. Pro zajištění stability teplot výparníku je na pravé boční stěně na třetím meandru nainstalovaná směšovací a rozdělovací komora.

2.3.5 Přehřívák č. 1

Z komory K 2 vystupuje pára pravou stranou kotle na kótě 15,9 m potrubím \varnothing 159 x 14 mm, materiál 15110 do vstupní komory KP 1 přehříváku č. 1. Přehřívák je umístěn ve II. tahu pod ohřívákem vody. Je proveden jako ležatý konvenční protiproudý svazek trubek. Pára prochází výhřevnými hady a vystupuje komorou KP 2 na kótě 11,6 m. Trámce konstrukce přehříváku č. 1 jsou chlazeny vzduchem potrubím \varnothing 219 x 6 mm.

2.3.6 Přehřívák č. 2 – Sálavý

Z výstupní komory KP 2 přehříváku č. 1 proudí pára potrubím \varnothing 194 x 20 mm, materiál 15128.5 pravou stranou kotle do vstupní komory KP 3 přehříváku č. 2 na kótě 2,3 m. Přehřívák č. 2 je umístěn ve výsypce. Pára prochází meandrovitě vinutými hady po zadní stěně výsypky, pak po obou bočních stěnách a přechází do přední stěny do výstupní komory KP 4 přehříváku č. 2 umístěné na kótě 2,7 m. Mezi přehřívák č. 1 a přehřívák č. 2 je napojen vstřík č. 1.

2.3.7 Přehřívák č. 3

Z výstupní komory KP 4 přehříváku č. 2 vystupuje pára potrubím \varnothing 194 x 16, materiál 15128.5 po levé straně kotle do vstupní komory KP 5 přehříváku č. 3. Přehřívák je proveden jako ležatý souprroudý konvekční svazek trubek. Pára prochází výhřevnými hady a vstupuje do komory KP 6 umístěné na kótě 11,1 m. Mezi přehřívák č. 2 a č. 3 je napojen vstřík č. 2.

2.3.8 Výstup páry z kotle

Z výstupní komory KP 6 přehříváku č. 3 vystupuje pára potrubím \varnothing 194 x 18 mm, materiál 15128.5 přes hlavní kotelní uzavěr ovládaným z dozorny nebo z místa, přes zpětnou klapu, měřicí dýzu, uzlový kus a parní šoupátka do spodní a horní větve 13,0 MPa. Parní šoupátka do větví jsou ovládána buď z dozorny, nebo z místa. Na výstupní parovod jsou napojeny 2ks potrubí \varnothing 76 x 8 mm na pojistné ventily, potrubí \varnothing 108 x 14 mm na najížděcí nádrž a polnici. Pro K 3,4 je na potrubí pro najížděcí nádrž umístěno

uzavírací šoupátko se servopohonem, najížděcí ventil BTG, u K 4 ještě ruční uzavírací šoupátko před uzavíracím šoupátkem se servopohonem.

2.3.9 Zařízení na přípravu uhelného prášku

Zařízení na přípravu uhelného prášku slouží k úpravě paliva pro práškové topení. Úprava spočívá v odstranění vlhkosti paliva a namletí paliva na požadovanou jemnost. Každý kotel má jeden mlecí okruh.

Mlecí okruh je uzavřený, podtlakový se zásobníkem uhelného prášku. Podtlak je vyvozen sacím účinkem mlýnského ventilátoru. Vlastní sušící a mlecí proces probíhá v mlecím prostoru mlýna. Do vstupního potrubí mlýna je zaústěna svodka z podavače surového uhlí, potrubí sušícího média (kouřových plynů) a přepadové potrubí z třídíče. K sušení paliva se používá kouřových plynů, které jsou nasávány z II. tahu před EKEM. Regulace teploty kouřových plynů se provádí klapami se servopohonem před a za EKEM nebo studenou-teplou klapou se servopohonem. Kouřové plyny jsou zároveň i nosným médiem, neboť dopravují prášek z mlýna až do cyklónu. Uhlý prášek vystupuje z mlýna a je přiveden do třídíče. Vstupní a výstupní potrubí z mlýna je opatřeno pojistnou membránou. V třídíči probíhá vytrídění uhelného prášku. Hrubší částice se vracejí přepadovým potrubím zpět do mlýna. Uhlý prášek je zaveden z třídíče ke dvěma mechanickým odlučovačům uhelného prášku (cyklónům). Odloučený uhlý prášek je z cyklónu podáván rotačním podavačem (turniketem) do zásobníku uhelného prášku (ZUP). Směs nosného média, odpařené vlhkosti z paliva a nejjemnějších částic uhelného prášku, které se nedostaly do ZUP se nazývají brýdy. Brýdy jsou odsávány mlýnským ventilátorem a dopravovány brýdovými hořáky do kotle. Pro zajištění bezpečného chodu je mlecí okruh opatřen ochranným systémem ANTIDET.

2.3.10 Práškové hořáky

Úkolem práškových hořáků je zajistit dokonalé promísení uhelného prášku se spalovacím (sekundárním) vzduchem. Na levé a pravé straně spalovací komory na kótě 18 m jsou umístěny dvě hořákové skříně, jedna v přední části a druhá v zadní části stěny. Do každé skříně jsou zavedena dvě dopravní potrubí uhelného prášku, která vyúsťují v hořáky. Hořáky jsou kruhové, před ústím opatřeny vířivou vložkou tvořenou lopatkami. Rozvířená primární směs se na výstupu z hořáku mísí se sekundárním vzduchem, který je ke každému hořáku přiveden tangenciálním proudem. Uhlý prášek vystupující z hořáků,

umístěných po čtyřech v protějších stěnách, je usměrněn spalovacím vzduchem tak, aby proudy prášku na sebe narážely a zajistila se tak lepší stabilita hoření plamenem. Vířivé vložky a vrtulky na jednotlivých hořácích musejí být zabudované jako sou proud s hořákovou skříní.

2.3.11 Brýdové hořáky

Po odloučení uhelného prášku v cyklónech zůstává ještě značná část uhelného prášku v sušících plynech. Tato směs uhelného prášku a brýdů se dopravuje čtyřmi brýdovými hořáky do ohniště kotle. Jednotlivá ústí hořáků jsou umístěná pod každou dvojicí práškových hořáků na kótě 16,4 m. Potrubí a ústí hořáku $\varnothing 270 \times 3$ mm. Potrubí brýdových hořáků je napojeno na výtlač MV. Chlazení ústí brýdových hořáků je zajištěno potrubím sekundárního vzduchu odebíraného z kanálu sekundárního vzduchu. Brýdové hořáky se od práškových liší tím, že koncentrace uhelného prášku je podstatně menší a plyny mají nižší teploty než primární směs a obsahuje vlhkost ze sušeného uhlí. Při velkých netěsnostech v mlecích okruzích, kdy dochází k falešnému přisávání okolního vzduchu se množství brýd zvětšuje, podstatně vychlazuje spalovací komoru a při nízkých výkonech kotle ohrožuje stabilitu plamene. Brýdové potrubí je vyloženo čedičem pro zajištění delší životnosti.

2.3.12 Spalovací vzduch

Spalovací vzduch je nasáván dvěma radiálními ventilátory a dopravován přes studený a horký ohřívák vzduchu, do hořákových skříní práškových hořáků.

Za ohříváky vzduchu je napojeno potrubí terciálního vzduchu s regulačními klapkami pro regulaci NOx. U K 3 jsou v ústí kanálů terciálního vzduchu směrové žaluzie, u K 4 tyto žaluzie namontovány nejsou.

Na výstupu z ohříváků vzduchu je vzduch nasáván dvěma primárními ventilátory (primární vzduch).

Tlak sekundárního vzduchu se za provozu kotle udržuje v rozmezí 900-2500 Pa dle výkonu kotle a hodnotě plynných emisí (Nox, CO).

2.3.13 Kouřové plyny

Kouřové plyny jsou odsávány ze spalovací komory přes II. a III. tah kotle a elektrostatický odlučovač popílku osovým rovnotlakým ventilátorem a přes komín č. 1 do ovzduší. Ve II. tahu jsou umístěny ve směru proudění kouřových plynů přehřívák páry č. 3, přehřívák páry č. 1, závěsy, na výstupu ohřívák napájecí vody, ve III. tahu jsou to ohříváky vzduchu č. II. a I. (horký a studený). Dále kouřové plyny proudí kouřovodem nad kótou 7,5 m za kotlem přes stěnu kotelny do elektrostatického čtyřsekčního odlučovače.

2.3.14 Elektrostatický odlučovač popílku

Elektrostatické odlučovací zařízení odlučuje popílek z kouřových plynů. Kotle K 3 a 4 jsou vybaveny čtyřsekčním elektrostatickým odlučovačem. Pod každou sekci je jehlancová výsypka s rotačním podavačem (turniketem), přeřazovací klapou, čajníkem a čeřícími žlaby, odkud se popílek splavuje do bagrovací stanice a na složiště popílku.

Technická data elektrostatického odlučovače K 3, 4

| | |
|----------------------------------|---------------|
| Výrobce | ZVVZ Milevsko |
| Počet sekcí | 4 |
| Počet odlučovacích komor | 16 |
| Jmen. výška odlučovače | 9 m |
| Počet US elektrod po délce sekce | 6 |
| Provozní teplota | 250°C |
| Provozní podtlak | 3,5 kPa |
| Typ usměrňovače | FGEG 500/92 |
| Počet usměrňovačů | 4 |

Funkce elektrostatického odlučovače

Kouřové plyny se vstupním tvarovým dílem dostávají do aktivní části odlučovače mezi soustavu US a VN elektrod. Zde se na částice popílku usazují elektrické náboje vznikající v oblasti koronového výboje, částice popílku se elektricky nabíjí a působením elektrostatického pole se podle polarity usazují buď na US elektrodách (částice se záporným nábojem - 80%) nebo na VN elektrodách (částice s kladným nábojem - 20%). Na VN elektrodách se kladné náboje ihned neutralizují. Na US elektrodách odevzdávají

elektrické náboje, které se odvádějí do země a zůstávají na nich působením vlastní sil lpět. Řádné a pravidelné odvádění těchto nábojů do země je podmínkou dobré funkce odlučovače a může být nepříznivě ovlivněno nevhodnými fyzikálními vlastnostmi popílku, vysokým měrným elektrickým odporem vrstvy popílku, vysokou teplotou apod. Vysokonapěťové prvky usazováním popílku zvětšují svůj povrch a tím zvyšují hodnotu svého počátečního napětí korony a emise iontů. Tím se pak zároveň snižuje prostorový náboj a nabíjení a odlučování tuhých částic popílku z kouřových plynů. Proto se elektrody obojí polarity musí v pravidelných intervalech čistit oklepávacími mechanismy. Popílek uvolněný z elektrod padá do výsypek a odtud potom mokrou cestou na složiště popílku. Část popílku se však při oklepávání zvrhne a je stržen protékajícími čistěnými kouřovými plyny. Musí se proto znovu nabít a odloučit.

Odlučivost EO

| | |
|---|-----------------------|
| Garantovaný záchyt v EO | 99,3% |
| Skutečný záchyt v EO..... | 99,76% |
| Průměrná výstupní koncentrace popílku | 50 mg.m ⁻³ |

Výsypky

Tvoří spodní část skříně a jsou ocelové jehlancového tvaru. Výsypky jsou ukončeny přírubou pro připojení zařízení na odběr popílku. Odvod popílku je prováděn mokrou cestou na odkaliště popílku č. 1, 2, která se nacházejí v blízkosti ETB.

2.3.15 Kouřový ventilátor

Je konstruován pro trvalý provoz v prašném prostředí. Každý kotel je vybaven jedním kouřovým ventilátorem pro udržování podtlaku na cestě kouřových plynů a ve spalovací komoře. Sací výkon ventilátoru musí být tak velký, aby překonal aerodynamické odpory jednotlivých částí kouřovodu a elektrostatického odlučovače a udržel ve spalovací komoře potřebný podtlak. Konstrukčně je kouřový ventilátor axiální rovnotlaký horizontální pro dopravu kouřových plynů do teploty 250°C. Ventilátor je umístěn vně kotelny na kótě 0,0 m mezi elektrostatickým odlučovačem a skládkou paliva č. 1.

Technická data ventilátoru

| | |
|-------------------------------|------------------------------------|
| Výrobce | ZVVZ Milevsko |
| Typ-KV 31,41 | ARD 1600-2,90°PM 122314.21 |
| Počet pro jeden kotel | 1 |
| Množství kouřových plynů..... | 55 m ³ .s ⁻¹ |
| Celk. tlak ventilátoru..... | 2100 Pa |
| Teplota kouřových plynů | 250°C |
| Otáčky oběžného kola | 990 ot.min ⁻¹ |

2.3.16 Odstruskování ohniště

Odstruskovací zařízení slouží k vynášení škváry, která padá přes výsypku kotle do vany vynašeče a následně se rozdrtí v drtiči škváry. Poté je takto rozdrčená škvára odváděna odstruskovacím kanálem do bagrovací stanice.

Hlavními částmi odstruskovacího zařízení (vynašeč a drtič) jsou nosná konstrukce, vana vynašeče, vratná stanice, pohon vynašeče, řetěz vynašeče, příslušenství, dilatační mezírám a drtič škváry.

3. **Nakládání s vedlejšími energetickými produkty kotle K 3 a 4 ETB**

Škvára je společně s popílkem pomocí splavovacího kanálu odváděna do sacích jímků bagrovacích čerpadel a poté čerpána na odkaliště č. 1, 2.

Po naplnění odkaliště se tyto vedlejší energetické produkty ukládají na skládku jak odpad.

4. **Základní metody snižování emisí SO₂, jejich výhody a nevýhody**

V případě tepelné elektrárny spalující uhlí existují dva základní způsoby vedoucích ke snížení emisí SO₂.

- Snižování obsahu síry v uhlí
- Snižování obsahu síry ve spalínách

4.1 Snižování obsahu síry v uhlí

Obsah síry v uhlí se pohybuje v rozmezí 0,5 % až 10 % hmotnosti podle druhu i místa původu uhlí. České hnědé uhlí má asi 1 až 3 % síry. Černé uhlí má obsah síry nižší než hnědé uhlí, většinou se pohybuje kolem 1 %. Síra v uhlí se vyskytuje v pyritické formě (FeS_2), v různých organických sloučeninách, v podobě síranů a může být i ve formě čisté. Každá z těchto forem síry vyžaduje k odsíření uhlí jinou technologii. Předpokládá se, že veškerá síra obsažená v palivu přechází při dokonalém spalování do spalín ve formě SO_2 a malá část, u hnědého uhlí asi 5 %, přechází do popela. Ke snížení množství SO_2 vzniklého spálením uhlí, lze uplatnit některou z metod snižujících obsah síry v uhlí.

4.1.1 Mechanická separace pyritické síry

Organická síra je součástí uhlí a představuje 30 až 70 % veškeré síry ve většině druhů uhlí. Maximální měrná hmotnost uhlí je asi $1,8 \text{ g.cm}^{-3}$ a pyritické síry asi 5 g.cm^{-3} . Tohoto rozdílu měrných hmotností se využívá při snižování obsahu pyritu v uhlí při tzv. fyzikální separaci. To se provádí tak, že se uhlí rozele na jemné části a vypere v kapalině. Proudem kapaliny jsou unášeny částice uhlí, které jsou lehčí, zatímco těžší zrnka pyritu síry se usazují. Tímto způsobem lze v uhlí snížit obsah pyritu o 30 až 60 %, ale za cenu vysokých energetických ztrát.

4.1.2 Chemické postupy

Další metodou snižování obsahu síry v uhlí je využití chemických reakcí. Existuje jich mnoho, ale jsou ekonomicky náročné a komplikované. Pro příklad jsou uvedeny následující způsoby.

Odstranění pyritu vyluhováním (způsob Myersův)

Při této metodě se uhlí za zvýšeného tlaku a teploty (90 až 130 °C) vyluhuje roztokem $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$. Vzniká síran železnatý, který se regeneruje oxidací vzdušným kyslíkem. Odstraní se pyritická síra a obsah organicky vázané síry se nemění. [9]

Gravimelt

Metoda Gravimelt byla vyvinuta v USA koncem 80. let pro odsíření černého uhlí. Tato metoda spočívá v extrakci popelovin z rozemleté uhelné hmoty roztaveným NaOH

při teplotě 320 až 415 °C. Po promytí se získá uhelná hmota s obsahem popelovin cca 1%. Tato metoda se průmyslově nevyužívá.

4.1.3 Biologické odstraňování

Desulfurační bakterie odbourávají FeS_2 a vzniká kyselina sírová. Proces probíhá velice pomalu a vyžaduje teploty nad 16 °C. U nás tato metoda nemá zřejmě perspektivu.

4.2 Odsiřování spalin

Odsiřování spalin je dnes ve velkém měřítku užívanou metodou snižování emisí SO_2 v energetice. Patří zde celá řada metod, založených na nejrozličnějších chemických či fyzikálně-chemických principech.

Základním principem odsiřování spalin je aplikace absorpčních látek do proudu spalin. Tyto látky reagují s oxidy síry a poté jsou ze spalin odstraněny.

Metody odsiřování spalin lze systematicky rozdělit do několika skupin dle různých požadavků na technologii.

Podle cirkulace aktivní látky:

a) Regenerační metody

Při těchto metodách aktivní látka poté co absorbuje SO_2 ze spalin je regenerována a opět připravena k absorpci.

b) Neregenerační metody

Aktivní látka reaguje s oxidem siřičitým a proces opouští jako produkt odsíření. Tyto metody jsou označovány jako průtočné.

Podle konzistence aktivní látky:

a) Mokré metody

b) Polosuché metody

c) Suché metody

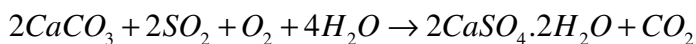
4.2.1 Mokrý odsíření

Tato metoda je nejpoužívanější při odsiřování nových velkých elektrárenských bloků v České republice. U stávajících elektrárenských bloků je většinou problém s umístěním technologie mokrého odsíření z důvodu nedostatku volného prostoru. Vzhledem k finanční náročnosti výstavby mokrého odsiřování, je nutné přihlídnout ke stáří kotlů a jejich předpokládané době životnosti.

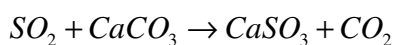
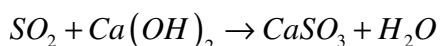
Při mokrému odsíření se proud spalin propírá v lázni uhličitanu vápenatého, přičemž dochází k vázání oxidu siřičitého do vodné suspenze uhličitanu nebo hydroxidu vápenatého a následná oxidací vzniklého siřičitanu na síran vápenatý, který se poté odděluje a deponuje nebo zpracovává na sádku.

Tento proces popisují následující chemické rovnice.

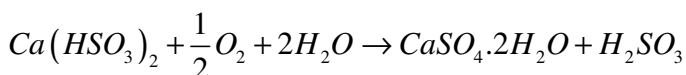
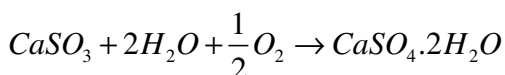
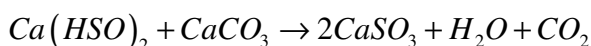
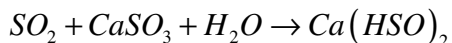
Sumárně:



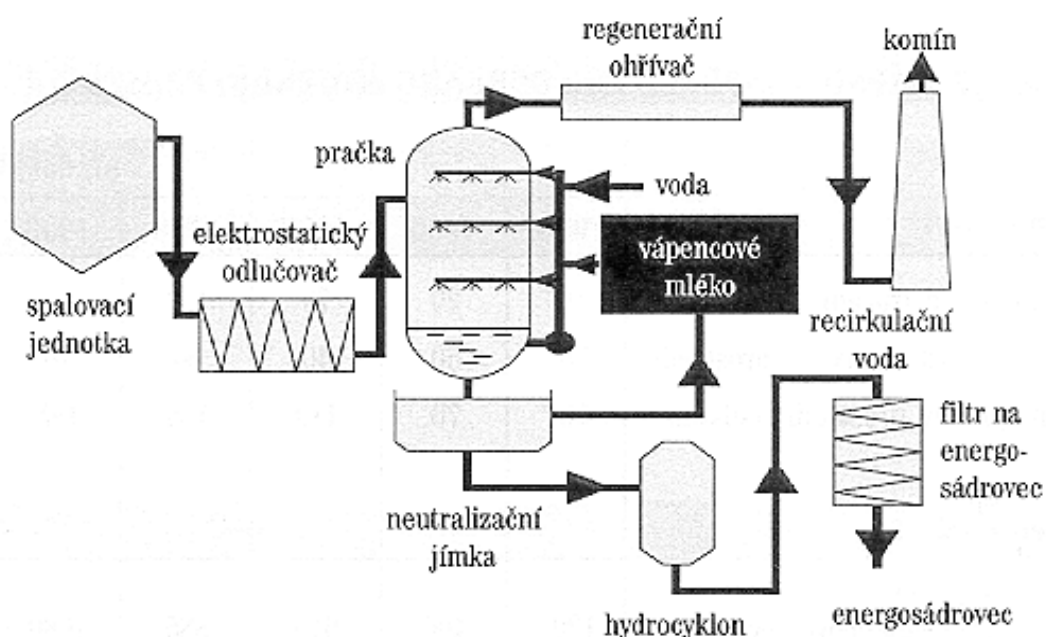
Podrobně:



Vzniklý CaSO_3 reaguje dále:



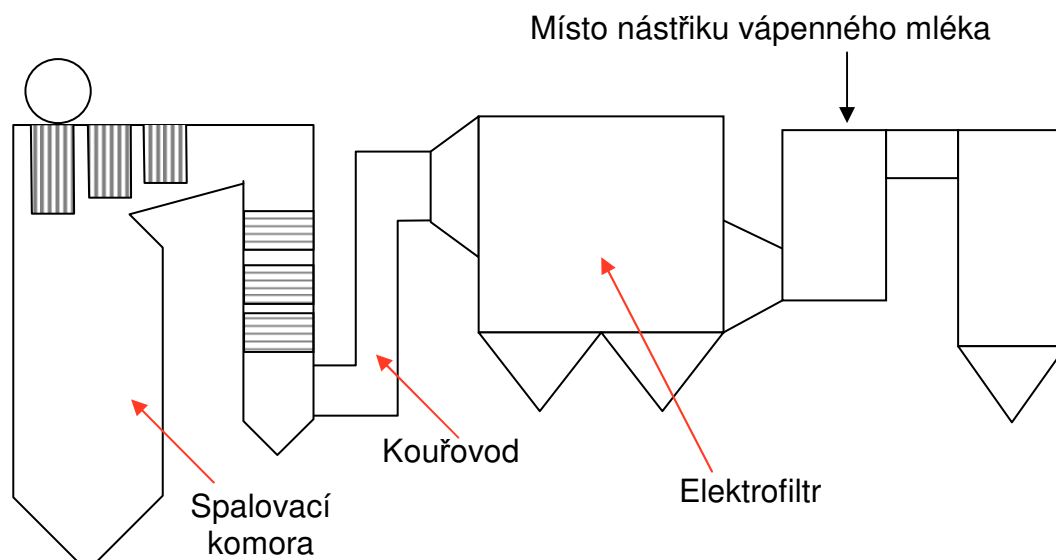
Tato metoda dosahuje účinnosti 94% při 1,1 – 1,2 násobku proti stechiometrii. Minimální možné dosažené emise SO_2 činí cca 50 mg/m_N³. Schéma této metody je na obrázku 4.1.



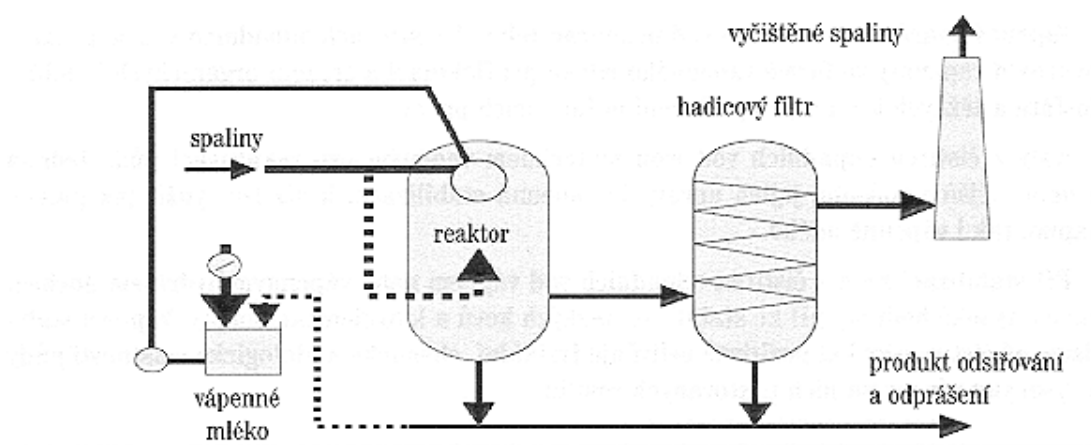
Obrázek 4.1 – Schéma mokré odsiřovací metody [7]

4.2.2 Polosuché odsíření

Tato metoda, jak je již zřejmé z názvu napovídá, že je něco mezi suchým a mokrým odsiřováním. Princip této metody spočívá ve vstřikování vápenného mléka do proudu spalin o teplotě 140 – 250 °C. Při reakci dochází k absorpci s oxidem siřičitým. Následuje částečná oxidace na síran vápenatý a zároveň dochází k odpaření vody. V elektroodlučovači, případně ve tkaninových filtrech (viz obrázek 4.3), se zachytí směs síranu a siřičitanu vápenatého s popílkem a nezreagovaným CaO. V důsledku zlepšení stupně zreagování CaO se část zachyceného úletu recirkuluje. Účinnost této metody dosahuje až 92% při přebytku oproti stechiometrii 1,8. Minimální možné emise SO₂ dosahují 80mg/m_N³. Zbytky ve spalinách se skládají ze 70% siřičitanu vápenatého, 20% síranu vápenatého a 10% vápna odděleného od popeloviny. Na obrázku 4.2 je vyznačeno místo nástřiku vápenného mléka.



Obrázek 4.2 – Schéma polosuché odsiřovací metody [7]

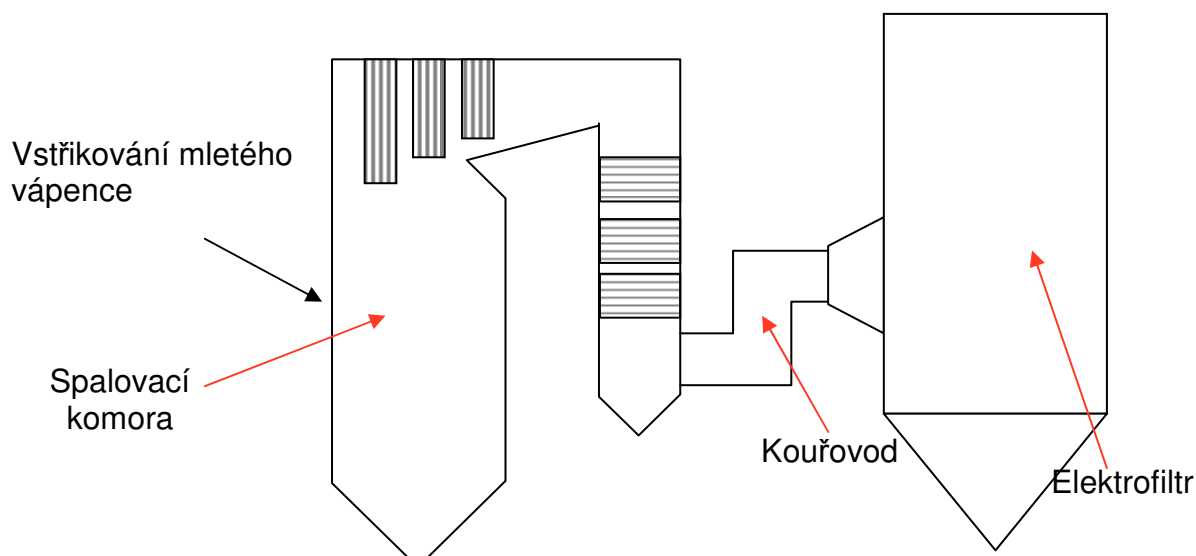


Obrázek 4.3 – Schéma vstřiku a odloučení vápenného mléka po reakci [7]

4.2.3 Suchá aditivní vápencová metoda

Tento způsob odsiřování spočívá v dávkování jemně mletého vápence do spalovacího prostoru kotle za vysoké teploty. Zde dojde k navázání oxidů síry na vápenný iont a látka jako produkt odsiřování odchází s proudem spalin do elektroodlučovače, kde se spolu s popílkem odloučí. Účinnost této metody dosahuje při dávkování aktivní látky na úrovni 4x stechiometrie asi 50%, přičemž minimální možné emise činí cca $800 \text{ mg} \cdot \text{m}_\text{N}^{-3}$. V popílků zůstane siřičitan vápenatý (CaSO_3) a přebytečné nehasené vápno smíchané

s popílkem. Schéma odsiřování suchou aditivní vápencovou metodou je znázorněno na obrázku 4.4.



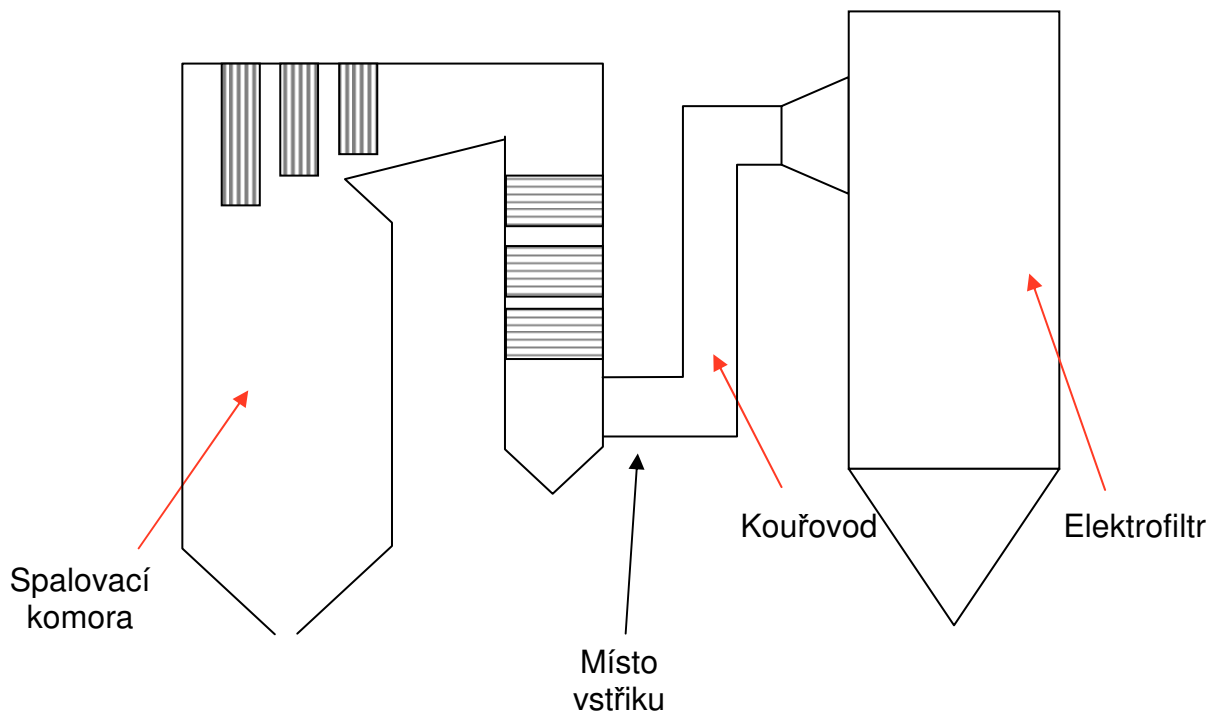
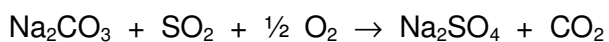
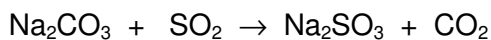
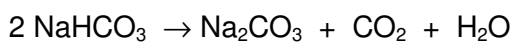
Obrázek 4.4 – Schéma suché aditivní vápencové metody [7]

4.2.4 Suché odsíření hydrogenuhličitanem sodným

Princip metody odsiřování pomocí NaHCO_3 , je podobný jako suchá aditivní vápencová metoda. Aplikuje se směs aktivní látky se vzduchem do proudu spalin viz. obrázek 4.5. Výhodou této metody je, že nedochází ke vstřikování aktivní látky do oblasti ohniště, což si vyžaduje reaktivnost vápna s SO_2 při vysokých teplotách, nýbrž se aktivní látka vstřikuje do spalinového traktu. Toto je umožněno největší účinností reakce NaHCO_3 s SO_2 v teplotním poli 140 až 250 °C. Nejvhodnější umístění vstřikovacích trysek vzhledem k teplotě spalin je na začátku spalinového kanálu, což je v našem případě za druhým tahem kotle. Umístěním vstřikovacích trysek až do spalinového traktu, z důvodu nižších teplot, se výrazně sníží náročnost na materiál použitý pro vstřikovací trysky a tím poklesnou pořizovací náklady. Zároveň se docílí větší životnosti trysek a tím se sníží i náklady na údržbu zařízení.

Účinnost odsiřování pomocí NaHCO_3 dosahuje cca 70% při dávkování sorbentu 1,25 – 1,4 x oproti stechiometrii. Minimální možné dosažené emise SO_2 činí cca 300mg/m_N^3 při použití ekonomického množství vstřikovaného aditiva. Zbytky ve spalinách se skládají z 80 % síranu sodného a zbývající část tvoří uhličitan sodný smíchaný s popílkem.

Chemické pochody



Obrázek 4.5 – Schéma odsíření hydrogenuhličitanem sodným za sucha [7]

5. Určení množství spalin a spotřeby reagentu

5.1. Parametry paliva

Na základě chemických rozborů paliva spalovaného v kotli K 3 a 4 (černý prach), byly vypočteny průměrné hodnoty, které jsou uvedeny v tabulce 6.1.

| Veličina | Označení | Průměrné hodnoty | Jednotka |
|------------|----------|------------------|---------------------|
| Výhřevnost | Q_i^r | 27,07 | MJ.kg^{-1} |
| Voda | W_t^r | 6.95 | % hmot. |
| Popel | A^d | 13,73 | % hmot. |

Tabulka 5.1 – Základní parametry černého uhelného prachu

Prvkový rozbor

| | |
|-----------|----------|
| C^{daf} | 87,654 % |
| H^{daf} | 5,213 % |
| N^{daf} | 1,332 % |
| O^{daf} | 5,235 % |
| S^{daf} | 0,566 % |

5.2. Přepočet prvkového rozboru na surový stav

K výpočtu musí být známo prvkové složení paliva. Hořlavé složky v 1 kg paliva ve stavu spalovaném jsou určeny prvkovým složením hořlaviny

$$C^{daf} + H^{daf} + S^{daf} + O^{daf} + N^{daf} = 1 \quad [\text{kg/kg}] \quad (5.1)$$

a v surovém stavu s obsahem balastu, tj. obsahem vody W^r [kg/kg] a popela A^r [kg/kg]

$$C^r + H^r + S^r + O^r + N^r + W^r + A^r = 1 \quad [\text{kg/kg}] \quad (5.2)$$

Z prvkového složení hořlaviny přepočteme obsahy jednotlivých prvků na surový stav (v původním palivu).

Výpočet obsahu popela v surovém stavu

$$A^r = A^d \cdot (1 - W^r) \quad (5.3)$$

$$A^r = 0,1373 \cdot (1 - 0,0695)$$

$$A^r = 0,1278$$

$$\underline{\underline{A^r = 12,78[\%]}}$$

Výpočet jednotlivých složek paliva

$$C^r = C^{daf} \cdot (1 - W^r - A^r) \quad (5.4)$$

$$C^r = 0,87654 \cdot (1 - 0,0695 - 0,1278)$$

$$C^r = 0,7036$$

$$\underline{\underline{C^r = 70,36[\%]}}$$

$$H^r = H^{daf} \cdot (1 - W^r - A^r) \quad (5.5)$$

$$H^r = 0,05213 \cdot (1 - 0,0695 - 0,1278)$$

$$H^r = 0,0418$$

$$\underline{\underline{H^r = 4,18[\%]}}$$

$$N^r = N^{daf} \cdot (1 - W^r - A^r) \quad (5.6)$$

$$N^r = 0,01332 \cdot (1 - 0,0695 - 0,1278)$$

$$N^r = 0,0107$$

$$\underline{\underline{N^r = 1,07[\%]}}$$

$$O^r = O^{daf} \cdot (1 - W^r - A^r) \quad (5.7)$$

$$O^r = 0,05235 \cdot (1 - 0,0695 - 0,1278)$$

$$O^r = 0,042$$

$$\underline{\underline{O^r = 4,2[\%]}}$$

$$S^r = S^{daf} \cdot (1 - W^r - A^r) \quad (5.8)$$

$$S^r = 0,00566 \cdot (1 - 0,0695 - 0,1278)$$

$$S^r = 0,00454$$

$$\underline{\underline{S^r = 0,454[\%]}}$$

5.3. Výpočet účinnosti kotle

5.3.1. Entalpie spalin a vzduchu

Entalpie spalin, vzniklých spálením jednoho kilogramu tuhého paliva je dána vztahem

$$i_S^{t,n} = i_{S,\min}^t + (n-1) \cdot i_{vz,\min}^t \left[\frac{kJ}{kg} \right] \quad (5.9)$$

$$i_{S,\min}^t \quad - \text{entalpie stechiometrických spalin (pro } n=1) \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

$$i_{vz,\min}^t \quad - \text{entalpie minimálního množství vzduchu při teplotě } t \left[kJ \cdot kg^{-1} \right]$$

$$n \quad - \text{součinitel přebytku vzduchu } [-]$$

Entalpie stechiometrických spalín se určí podle vztahů

$$i_{S,\min}^t = V_{CO_2} \cdot i_{CO_2}^t + V_{SO_2} \cdot i_{SO_2}^t + V_{N_2} \cdot i_{N_2}^t + V_{H_2O} \cdot i_{H_2O}^t + a_{\dot{u}} \cdot A^r \cdot i_{pop}^t \left[\frac{kJ}{kg} \right] \quad (5.10)$$

$$i_i^t \quad - \text{entalpie jednotlivých složek spalín při teplotě } t \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

$$a_{\dot{u}} \quad - \text{poměrný úlet popílku z ohniště vztažený k celkovému obsahu popela v použitém palivu } A^r \quad [-]$$

$$i_{S,\min}^t = 1,313 \cdot 278,75 + 0,003 \cdot 308,88 + 8,022 \cdot 205,132 + 0,657 \cdot 239,86 + 0,05 \cdot \frac{12,78}{100} \cdot 132,368$$

$$i_{S,\min}^t = 2170,925 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

Entalpie minimálního množství vzduchu se určí podle vztahů

$$i_{vz,\min}^t = V_{vz,\min}^s \cdot i_{vz}^{t,s} + V_{H_2O}^{vz} \cdot i_{H_2O}^t \left[kJ \cdot kg^{-1} \right] \quad (5.11)$$

$$i_{vz,\min}^t = 10,143 \cdot 34,19 + 0,101 \cdot 31,28$$

$$i_{vz,\min}^t = 349,969 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

Entalpie spalín

$$i_S^{t,n} = 2170,925 + (1,4 - 1) \cdot 349,969$$

$$i_S^{t,n} = 2310,913 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

5.3.2. Tepelné ztráty kotle

Při spalování tuhých paliv se uvažuje pět základních ztrát:

- Ztráta mechanickým nedopalem Z_c
- Ztráta chemickým nedopalem Z_{CO}
- Ztráta sáláním a vedením tepla do okolí Z_{sv}
- Ztráta fyzickým teplem tuhých zbytků Z_f
- Ztráta citelným teplem spalín (komínová ztráta) Z_k

5.3.3. Ztráta mechanickým nedopalem

Ztráta vzniká nespálenou hořlavinou v tuhých zbytcích. Lze ji vypočítat podle vzorce

$$Z_c = Z_{cs} + Z_{cú} + Z_{cp} + Z_{cr} + Z_{cb} \quad [-] \quad (5.12)$$

Z_{cs} – ztráta nedopalem ve škváře nebo strusce, to znamená v tuhých zbytcích zachycených v ohništích

$Z_{cú}$ – ztráta nedopalem v úletu, to znamená v tuhých zbytcích, které jsou uneseny spaliny pryč z kotle

Z_{cp} – ztráta nedopalem v popílku, to znamená ve frakcích, které jsou zachyceny tazích kotle

Z_{cr} – ztráta nedopalem v roštovém propadu, kde se propad nevrací zpět do ohniště kotle

Z_{cb} – ztráta uhelným práškem v brydách u kotlů s otevřeným mlecím okruhem

Jednotlivé složky ztráty mechanickým nedopalem se určí ze vztahu

$$Z_{ci} = \frac{C_i}{1 - C_i} \cdot X_i \cdot \frac{A^r}{Q_{i,red}} \cdot Q_{ci} \quad [-] \quad (5.13)$$

C_i – podíl hořlaviny v tuhých zbytcích $[-]$

X_i – podíl popela z celkového na tuhé množství v palivu připadající zbytky $[-]$

A^r – množství popelovin v palivu v surovém stavu $[-]$

$Q_{i,red}$ – redukováná výhřevnost paliva $\left[\frac{kJ}{kg} \right]$

Q_{ci} – výhřevnost hořlaviny uvažovaného druhu tuhých zbytků $\left[\frac{kJ}{kg} \right]$

Jelikož se jedná o kotel granulační s uzavřeným mlecím okruhem a bez problému se zanášením, Z_{cp} Z_{cr} Z_{cb} do svých výpočtů nezahrnuji.

$$Z_{cs} = \frac{C_s}{1 - C_s} \cdot X_s \cdot \frac{A^r}{Q_{ci,red}} \cdot Q_{ci} \quad [-] \quad (5.14)$$

$$Z_{cs} = \frac{0,05}{1-0,05} \cdot 0,2 \cdot \frac{12,78}{27,07} \cdot 32,6$$

$$\underline{\underline{Z_{cs} = 0,162 [-]}}$$

$$Z_{cú} = \frac{C_{ú}}{1-C_{ú}} \cdot X_{ú} \cdot \frac{A^r}{Q_{ci,red}} \cdot Q_{ci} \quad [-] \quad (5.15)$$

$$Z_{cú} = \frac{0,1}{1-0,1} \cdot 0,85 \cdot \frac{12,78}{27,07} \cdot 32,6$$

$$\underline{\underline{Z_{cú} = 1,454 [-]}}$$

$$Z_c = 0,162 + 1,454$$

$$\underline{\underline{Z_c = 1,616 [-]}}$$

5.3.4. Ztráta chemickým nedopalem

Ztráta chemickým nedopalem se také označuje jako ztráta hořlavinou ve spalínách. Tato ztráta vyjadřuje ztracené teplo nespálených hořlavých plynů, obsažených ve spalínách. Pro její určení se většinou zjišťuje jen koncentrace oxidu uhelnatého ve spalínách. Pro odhad ztráty chemickým nedopalem vycházím z tabulky č. 5.2 [1].

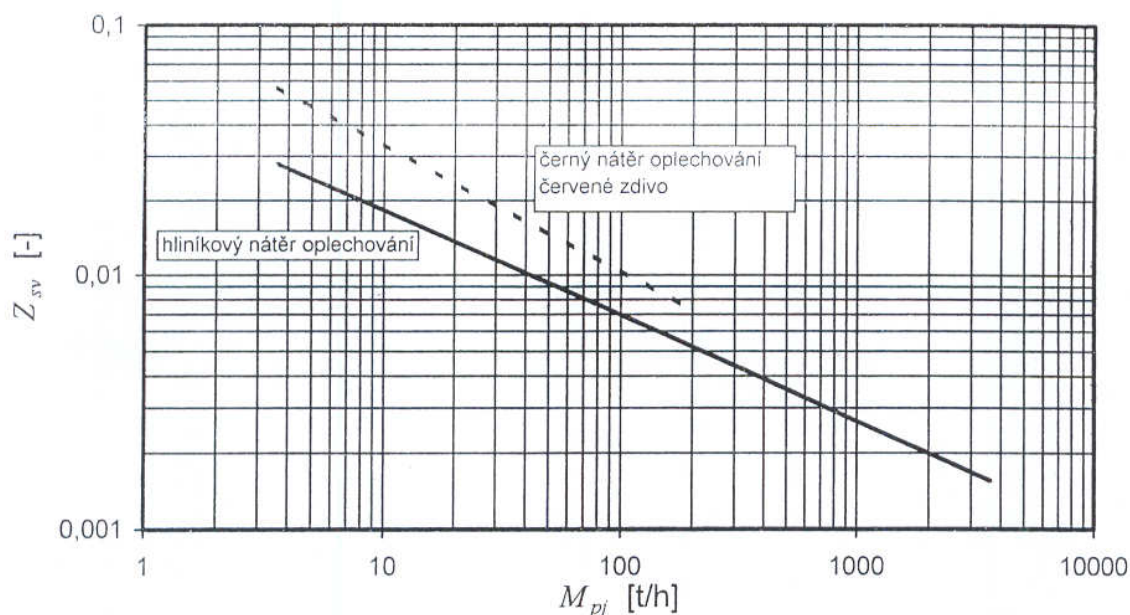
| Ohniště | | Uhlí | Ztráta Z_{co} [-] |
|-----------------|---------------------------------------|---------------------------|---------------------|
| Roštové | s pásovým roštem | | 0,008 ÷ 0,01 |
| | s přesuvným roštem | | 0,005 ÷ 0,01 |
| | pásový rošt s pohazováním | | 0,005 |
| | pevný rošt s pohazováním | | 0,01 |
| Granulační | se šachtovými a ventilátorovými mlýny | lignit | 0,01 ÷ 0,015 |
| | | hnědé | 0,005 ÷ 0,01 |
| | | černé | 0,005 |
| | ostatní | lignit | 0,007 ÷ 0,015 |
| | | hnědé | 0,005 ÷ 0,01 |
| | | černé $V^{daf} \geq 0,25$ | 0,005 |
| | | černé $V^{daf} < 0,25$ | 0,003 |
| Tavicí | | hnědé | 0,005 ÷ 0,007 |
| | | černé $V^{daf} \geq 0,25$ | 0,005 ÷ 0,007 |
| | | černé $V^{daf} < 0,25$ | 0,0 |
| Fluidní | | lignit | 0,005 ÷ 0,01 |
| | | hnědé | max. 0,001 |
| | | černé | 0,008 ÷ 0,01 |
| Olejové | | | 0,005 ÷ 0,01 |
| Plynové | $Q_i < 12,5 \text{ MJ/Nm}^3$ | | 0,005 ÷ 0,015 |
| | $Q_i > 12,5 \text{ MJ/Nm}^3$ | | 0,005 ÷ 0,01 |
| Spalování dřeva | | | 0,03 ÷ 0,07 |

Tabulka č.5.2 – Ztráta chemickým nedopalem [1]

$$Z_{co} = 0,5 [\%]$$

5.3.5. Ztráta sáláním a vedením tepla do okolí

Touto ztrátou se zohledňuje množství tepla uniklého pláštěm kotle do okolí. Velikost této ztráty závisí především na kvalitě izolace stěn, oplechování, velikosti povrchu a výkonu kotle. Pro odhad postačí, že se nahradí velikost povrchu kotle jeho jmenovitým parním výkonem $M_{pj} \left[\frac{t}{h} \right]$ a ztrátu Z_{sv} lze určit z obr. 6.1.



Obrázek 5.1 - Ztráta sdílením tepla do okolí [1]

$$M_{pj} = 80 \left[\frac{t}{h} \right]$$

$$Z_{sv} = 0,008 [-]$$

5.3.6. Ztráta fyzickým teplem tuhých zbytků

Skládá se ze ztráty ve škváře, popílku a úletu. Vypočte se podle vzorce

$$Z_f = \sum_i \frac{X_i}{1 - C_i} \cdot \frac{A^r}{Q_{i,red}} \cdot c_i \cdot t_i [-] \quad (5.16)$$

C_i – podíl hořlaviny v tuhých zbytcích [-]

X_i – podíl popela z celkového množství v palivu připadající na tuhé zbytky [-]

A^r – množství popelovin v palivu v surovém stavu [-]

$Q_{i,red}$ – redukovaná výhřevnost paliva $\left[\frac{kJ}{kg} \right]$

c_i – měrná tepelná kapacita tuhých zbytků $[kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$

t_i – teplota uvažovaného druhu tuhých zbytků $[^{\circ}C]$

Měrnou tepelnou kapacitu tuhých zbytků je možno odečíst z tabulky literatury [1].

Teplotu tuhých zbytků u granulačních ohnišť a má hodnotu 600 °C.

Jestliže je citelné teplo popítku úletu z ohniště zahrnuto do entalpie spalin, je součástí komínové ztráty a do ztráty fyzickým teplem tuhých zbytků se nezapočítává.

$$Z_{fs} = \frac{X_s}{1 - C_s} \cdot \frac{A^r}{Q_{i,red}} \cdot c_s \cdot t_s \quad [-] \quad (5.17)$$

$$Z_{fs} = \frac{0,2}{1 - 0,05} \cdot \frac{12,78}{27070} \cdot 0,9301 \cdot 600$$

$$\underline{\underline{Z_{fs} = 0,0555 \quad [-]}}$$

$$Z_{fú} = \frac{X_{\dot{u}}}{1 - C_{\dot{u}}} \cdot \frac{A^r}{Q_{i,red}} \cdot c_{\dot{u}} \cdot t_{\dot{u}} \quad [-] \quad (5.18)$$

$$Z_{fú} = \frac{0,85}{1 - 0,1} \cdot \frac{12,78}{27070} \cdot 0,83 \cdot 158$$

$$\underline{\underline{Z_{fú} = 0,0585 \quad [-]}}$$

$$Z_f = 0,055 + 0,058$$

$$\underline{\underline{Z_f = 0,114 \quad [-]}}$$

5.3.7. Ztráta citelným teplem spalin

Tato ztráta reprezentuje teplo, které odchází v kouřových plynech. Jde o nejvýznamnější ztrátu, která účinnost kotle ovlivňuje nejvíce. Její velikost je závislá na teplotě spalin a přebytku vzduchu ve spalinách za kotlem. Se zvětšováním velikosti obou parametrů se ztráta zvyšuje.

V diplomové práci komínovou ztrátu počítám podle vztahu

$$Z_k = (1 - Z_c) \cdot \frac{i_s^{t_k, n_k} - n_k \cdot i_{vz}}{Q_{i,red}} \quad [-] \quad (5.19)$$

Z_C – ztráta mechanickým nedopalem [–]

$i_s^{t_k, n_k}$ – entalpie spalin při teplotě t_k a přebytku vzduchu n_k odečtená z i-t diagramu

$$\left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

i_{vz} – entalpie studeného vzduchu $\left[\frac{kJ}{kg} \right]$

n_k – přebytek vzduchu [–]

$Q_{i, red}$ – redukovaná výhřevnost paliva $\left[\frac{kJ}{kg} \right]$

Volba teploty pro určení entalpie studeného vzduchu z diagramu i-t není jednoznačná. Pokud je teplota studeného vzduchu vyšší, je vyšší i účinnost. Při volbě teploty by se mělo uvažovat se střední teplotou veškerého vzduchu, který se do kotle dostává. Přesné určení teploty nasávaného i falešného vzduchu je prakticky nemožné určit a navíc se v průběhu roku mění.

Při výpočtu jsem zvolil teplotu 30 °C.

$$Z_k = \left((1 - 0,01616) \cdot \frac{2310,91 - 1,4 \cdot 349,969}{27070} \right) \cdot 100$$

$$\underline{\underline{Z_k = 6,618 \text{ [–]}}}$$

5.3.8. Účinnost kotle

Účinnost kotle se určuje převážně nepřímou metodou. Jednotlivé velikosti poměrných tepelných ztrát kotle se vypočtou podle vztahu

$$\eta_K = 1 - Z_C - Z_{CO} - Z_{sv} - Z_f - Z_K \text{ [–]} \quad (5.20)$$

$$\eta_K = 1 - 0,01616 - 0,005 - 0,008 - 0,00114 - 0,06618$$

$$\underline{\underline{\eta_K = 0,904 \text{ [–]}}}$$

$$\eta_{K, \%} = \eta_K \cdot 100 [\%] \quad (5.21)$$

$$\eta_{K, \%} = 0,904 \cdot 100$$

$$\underline{\underline{\eta_{K, \%} = 90,4\%}}}$$

5.4. Výpočet spotřeby paliva pro jmenovitý výkon

Množství paliva stanovíme z účinnosti a výkonu kotle

$$Q_k = m_{\text{pal}} \cdot Q_i^r \cdot \eta_k \quad \Rightarrow \quad m_{\text{pal}} = \frac{Q_k}{Q_i^r \cdot \eta_k} \quad (5.22)$$

$$m_{\text{pal}} = \frac{55,3}{27,07 \cdot 0,90}$$

$$\underline{m_{\text{pal}}} = 2,27 \text{ kg/s}$$

$$B = 2,27 \cdot 3600 = 8172 \text{ kg/h}$$

| | | |
|-----|------------------|--------------------------------|
| kde | Q_k | výkon kotle [MW _t] |
| | m_{pal} | množství paliva [kg/s] |
| | B | množství paliva [kg/h] |
| | Q_i^r | výhřevnost paliva [MJ/kg] |
| | η_k | účinnost kotle |

5.5. Výpočet spalovacího procesu

Předpoklady pro výpočet spalovacího procesu (vlastnosti paliva a spalovací proces).

| L.p. | Popis | Symbol | obsah | Jednotka |
|------|------------------------------|-----------|---------|-------------------------------------|
| 1 | výhřevnost paliva | W_d | 27070 | $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ |
| 2 | spotřeba paliva | B | 8172 | kg/h |
| 3 | obsah popele | A_r | 0,12780 | kg/kg |
| 4 | obsah vody | W_r | 0,06950 | kg/kg |
| 5 | obsah uhlíku | C_r | 0,70360 | kg/kg |
| 6 | obsah vodíku | H_r | 0,04180 | kg/kg |
| 7 | obsah kyslíku | O_r | 0,04200 | kg/kg |
| 8 | obsah dusíku | N_T | 0,01070 | kg/kg |
| 9 | obsah síry | S_r | 0,00454 | kg/kg |
| 10 | přebytek spalovacího vzduchu | λ | 1,4 | - |
| 11 | vlhkost vzduchu | w_p | 0.010 | $\text{kg H}_2\text{O/kg vzd.such}$ |

Tabulka 5.3 - Vlastnosti paliva a spalovací proces

Minimální spotřeba vzduchu na spálení 1 kg paliva.

$$L_{\min} = 8,88 \cdot C + 26,44 \cdot H + 3,32 \cdot S - 3,30 \cdot O \left[\frac{m_N^3}{kg} \right] \quad (5.23)$$

$$L_{\min} = 8,88 \cdot 0,7036 + 26,44 \cdot 0,0418 + 3,32 \cdot 0,00454 - 3,30 \cdot 0,042$$

$$\underline{\underline{L_{\min} = 7,50684 \left[\frac{m_N^3}{kg} \right]}}$$

Množství CO₂ v palivu.

$$V_{CO_2} = 1,85 \cdot C \left[\frac{m_N^3}{kg} \right] \quad (5.24)$$

$$V_{CO_2} = 1,85 \cdot 0,7036$$

$$\underline{\underline{V_{CO_2} = 1,30166 \left[\frac{m_N^3}{kg} \right]}}$$

Množství SO₂ v palivu.

$$V_{SO_2} = 0,68 \cdot S \left[\frac{m_N^3}{kg} \right] \quad (5.25)$$

$$V_{SO_2} = 0,68 \cdot 0,00454$$

$$\underline{\underline{V_{SO_2} = 0,003087 \left[\frac{m_N^3}{kg} \right]}}$$

Množství N₂ v palivu.

$$V_{N_2} = 0,8 \cdot N \left[\frac{m_N^3}{kg} \right] \quad (5.26)$$

$$V_{N_2} = 0,8 \cdot 0,0107$$

$$\underline{\underline{V_{N_2} = 0,00856 \left[\frac{m_N^3}{kg} \right]}}$$

Množství H₂O v palivu.

$$V_{H_2O} = 11,11 \cdot H + 1,24 \cdot w \left[\frac{m_N^3}{kg} \right] \quad (5.27)$$

$$V_{H_2O} = 11,11 \cdot 0,0418 + 1,24 \cdot 0,0695$$

$$V_{H_2O} = 0,55058 \left[\frac{m_N^3}{kg} \right]$$

Množství H_2O ze vzduchu.

$$V_{H_2O}^{\cdot} = \lambda \cdot L_{\min} \cdot 1,6 \cdot w_p \left[\frac{m_N^3}{kg} \right] \quad (5.28)$$

$$V_{H_2O}^{\cdot} = 1,4 \cdot 7,50684 \cdot 1,6 \cdot 0,010$$

$$V_{H_2O}^{\cdot} = 0,168153 \left[\frac{m_N^3}{kg} \right]$$

Celkový obsah vody při spalování paliva a vzduchu.

$$V_{H_2O, cel} = V_{H_2O} + V_{H_2O}^{\cdot} \left[\frac{m_N^3}{kg} \right]$$

(5.29)

$$V_{H_2O, cel} = 0,55058 + 0,168153$$

$$V_{H_2O, cel} = 0,71873 \left[\frac{m_N^3}{kg} \right]$$

Objem O_2 .

$$V_{O_2} = (\lambda - 1) \cdot 0,21 \cdot L_{\min} \left[\frac{m_N^3}{kg} \right] \quad (5.30)$$

$$V_{O_2} = (1,4 - 1) \cdot 0,21 \cdot 7,50684$$

$$V_{O_2} = 0,63057 \left[\frac{m_N^3}{kg} \right]$$

Objem N_2 ze vzduchu.

$$V_{N_2}^{\cdot} = \lambda \cdot 0,79 \cdot L_{\min} \left[\frac{m_N^3}{kg} \right] \quad (5.31)$$

$$V_{N_2}^{\cdot} = 1,4 \cdot 0,79 \cdot 7,50684$$

$$V_{N_2}^{\cdot} = 8,302565 \left[\frac{m_N^3}{kg} \right]$$

Celkový objem N_2 z paliva a vzduchu.

$$V_{N_2, cel} = V_{N_2} + V_{N_2} \left[\frac{m_N^3}{kg} \right] \quad (5.32)$$

$$V_{N_2, cel} = 8,302565 + 0,00856$$

$$\underline{\underline{V_{N_2, cel} = 8,311125 \left[\frac{m_N^3}{kg} \right]}}$$

Množství spalin suchých.

$$V_S = (V_{CO_2} + V_{SO_2} + V_{N_2} + V_{O_2}) \cdot B \left[\frac{m_N^3}{h} \right] \quad (5.33)$$

$$V_S = (1,30166 + 0,003087 + 8,311125 + 0,63057) \cdot 8172$$

$$\underline{\underline{V_S = 83734 \left[\frac{m_N^3}{h} \right]}}$$

Množství spalin vlhkých.

$$V_M = (V_{CO_2} + V_{SO_2} + V_{N_2} + V_{O_2} + V_{H_2O}) \cdot B \left[\frac{m_N^3}{h} \right] \quad (5.34)$$

$$V_M = (1,30166 + 0,003087 + 8,311125 + 0,63057 + 0,71873) \cdot 8172$$

$$\underline{\underline{V_M = 89607 \left[\frac{m_N^3}{h} \right]}}$$

Objemové části vlhkých spalin vlhkých.

$$r_{SO_2} = \frac{V_{SO_2} \cdot B}{V_w^r} \quad (5.35)$$

$$r_{SO_2} = \frac{0,003087 \cdot 8172}{89607}$$

$$\underline{\underline{r_{SO_2} = 0,000281}}$$

$$r_{N_2} = \frac{V_{N_2} \cdot B}{V_w^r}$$

$$r_{N_2} = \frac{8,311125 \cdot 8172}{89607}$$

$$\underline{\underline{r_{N_2} = 0,7579}}$$

$$r_{O_2} = \frac{V_{O_2} \cdot B}{V_w^r}$$

$$r_{O_2} = \frac{0,63057 \cdot 8172}{89607}$$

$$\underline{\underline{r_{O_2} = 0,0575}}$$

$$r_{CO_2} = \frac{V_{CO_2} \cdot B}{V_w^r}$$

$$r_{CO_2} = \frac{1,30166 \cdot 8172}{89607}$$

$$\underline{\underline{r_{CO_2} = 0,1187}}$$

$$r_{H_2O} = \frac{V_{H_2O} \cdot B}{V_w^r}$$

$$r_{H_2O} = \frac{0,71873 \cdot 8172}{89607}$$

$$\underline{\underline{r_{H_2O} = 0,0655}}$$

Přepočet na spaliny suché.

$$r_{CO_{2s}} = \frac{r_{CO_2}}{1 - r_{H_2O}} \quad (5.36)$$

$$r_{CO_{2s}} = \frac{0,1187}{1 - 0,0655}$$

$$\underline{\underline{r_{CO_{2s}} = 0,1270}}$$

$$r_{N_{2s}} = \frac{r_{N_2}}{1 - r_{H_2O}}$$

$$r_{N_{2s}} = \frac{0,7579}{1 - 0,0655}$$

$$\underline{\underline{r_{N_{2s}} = 0,8110}}$$

$$r_{O_{2s}} = \frac{r_{O_2}}{1 - r_{H_2O}}$$

$$r_{O_{2s}} = \frac{0,0575}{1 - 0,0655}$$

$$\underline{\underline{r_{O_{2s}}=0.0615}}$$

Přepočet na 6% O₂.

$$V_{S6}=V_s^t \cdot \frac{0.21-r_{O_2}}{0.21-0.06} \left[\frac{m_N^3}{h} \right] \quad (5.37)$$

$$V_{S6}=83734 \cdot \frac{0.21-0.0615}{0.21-0.06}$$

$$\underline{\underline{V_{S6}=82897 \left[\frac{m_N^3}{h} \right]}}$$

Součinitele únosu TZL a účinnost odprášení za kotlem.

- Pro kotel granulační $x_p=0.82$
- Účinnost odprášení za kotelem $\eta_{filtru} = 0.9976$

Emise TZL z kotle.

$$A=0.1278$$

$$e_{pop^3}=A \cdot B \cdot x_p \cdot (1-\eta_{filtru}) \quad (5.38)$$

$$e_{pop^3}=0.1278 \cdot 8172 \cdot 0.82 \cdot (1-0.9976)$$

$$\underline{\underline{e_{pop^3}=2,055 \left[\frac{kg}{h} \right]}}$$

Koncentrace popílku v suchých spalínách 6% O₂.

$$x_{pop}=\frac{e_{pop}}{V_{S6}} \quad (5.39)$$

$$x_{pop^3}=\frac{2,055 \cdot 1000000}{82897}$$

$$\underline{\underline{x_{pop^3}=24,79 \left[\frac{mg}{m_N^3} \right]}}$$

Skutečná hodnota SO₂.

$$x_{SO_{2s}}=\frac{2 \cdot S_r \cdot B}{V_{S6}} \quad (5.40)$$

$$x_{SO_2} = \frac{2 \cdot 0.00454 \cdot 8172 \cdot 1000000}{82897}$$

$$x_{SO_2} = 895 \left[\frac{mg}{m_N^3} \right]$$

| L.p. | Popis | Symbol | objem | Jednotka |
|------|--|------------|--------|-----------------------------|
| 1 | Objem vlhkých spalin | V_{M1} | 89607 | m^3/h |
| 2 | Podíl dusíku ve vlhkých spalinách | r_{N2} | 0.7579 | m^3/m^3 |
| 3 | Podíl oxidu uhlíku ve vlhkých spalinách | r_{CO2} | 0.1187 | m^3/m^3 |
| 4 | Podíl kyslíku ve vlhkých spalinách | r_{O2} | 0.0575 | m^3/m^3 |
| 5 | Podíl vody ve vlhkých spalinách | r_{H2O} | 0.0655 | m^3/m^3 |
| 6 | Teplota spalin na vstupu do reaktoru | t_1 | 150.00 | °C |
| 7 | Tlak spalin před jednotkou odsíření | p_g | 100050 | Pa |
| 8 | Koncentrace oxidu siřičitého | x_{SO2} | 895.00 | mg/m_n^3 ($O_2=6\%$) |
| 9* | Koncentrace oxidu sírového | x_{SO3} | 10.00 | mg/m_n^3 ($O_2=6\%$) |
| 10* | Koncentrace chlorovodíku | x_{HCl} | 100.00 | mg/m_n^3 ($O_2=6\%$) |
| 11* | Koncentrace fluoridů | x_{HF} | 15.00 | mg/m_n^3 ($O_2=6\%$) |
| 12 | Koncentrace TZL před reaktorem | x_{SO2} | 24,79 | mg/m_n^3 ($O_2=6\%$) |
| 13 | Teplota vlhkých spalin | t_m | 48 | °C |
| 14 | Teplota spalin na vstupu do reaktoru | t_1 | 150.00 | °C |
| 15 | Teplota spalin na výstupu z reaktoru | t_2 | 95.00 | °C |
| 16 | Teplota procesní vody na vstupu do reaktoru | t_{c1} | 20.00 | °C |
| 17 | Závazné koncentrace SO ₂ na výstupu s jednotky odsíření | x_{SO2k} | 190 | mg/m_n^3 |
| 18 | Druh sorbentu | $Ca(OH)_2$ | | |
| 19 | Obsah čisté složky sorbentu | u_{Ca} | 0.93 | kg/kg |
| 20 | Přebytek stechiometrický | Ca/S | 1,30 | mol/mol |
| 21 | Měrný povrch sorbentu | a | 14,00 | m^2/g |

Tabulka 6.2 - Charakteristika spalin vstupujících do jednotky odsíření

* Koncentrace SO₃, HCl a HF byly přijaty na základě zkušeností firmy Rafako. S.A.

Účinnost odsíření.

$$\eta_{SO_2} = \frac{x_{SO_2} - x_{SO_2k}}{x_{SO_2}} \quad (5.41)$$

$$\eta_{SO_2} = \frac{895 - 190}{895}$$

$$\underline{\underline{\eta_{SO_2} = 0,7877}}$$

Účinnost odstranění jiných kyselých plynů.

$$\eta_{SO_3} = 0,80$$

$$\eta_{HCl} = 0,95$$

$$\eta_{HF} = 0,90$$

Konečná koncentrace SO_3 .

$$x_{SO_3k} = x_{SO_3} \cdot (1 - \eta_{SO_3}) \left[\frac{mg}{m_N^3} \right] \quad (5.42)$$

$$x_{SO_3k} = 10 \cdot (1 - 0,8)$$

$$\underline{\underline{x_{SO_3k} = 2,000 \left[\frac{mg}{m_N^3} \right]}}$$

Konečná koncentrace HCl .

$$x_{HClk} = x_{HCl} \cdot (1 - \eta_{HCl})$$

$$x_{HClk} = 100 \cdot (1 - 0,95)$$

$$\underline{\underline{x_{HClk} = 5,000 \left[\frac{mg}{m_N^3} \right]}}$$

Konečná koncentrace HF .

$$x_{HFk} = x_{HF} \cdot (1 - \eta_{HF})$$

$$x_{HFk} = 15 \cdot (1 - 0,90)$$

$$\underline{\underline{x_{HFk} = 1,500 \left[\frac{mg}{m_N^3} \right]}}$$

Emise SO₂.

$$e_{SO_2} = \frac{V_s^{6\%O_2} \cdot x_{SO_2}}{1 \cdot 10^6} \left[\frac{kg}{h} \right] \quad (5.43)$$

$$e_{SO_2} = \frac{82897 \cdot 895}{1 \cdot 10^6}$$

$$e_{SO_2} = 74,193 \left[\frac{kg}{h} \right]$$

Emise SO₃.

$$e_{SO_3} = \frac{V_s^{6\%O_2} \cdot x_{SO_3}}{1 \cdot 10^6}$$

$$e_{SO_3} = \frac{82897 \cdot 10}{1 \cdot 10^6}$$

$$e_{SO_3} = 0,829 \left[\frac{kg}{h} \right]$$

Emise HCl.

$$e_{HCl} = \frac{V_s^{6\%O_2} \cdot x_{HCl}}{1 \cdot 10^6}$$

$$e_{HCl} = \frac{82897 \cdot 100}{1 \cdot 10^6}$$

$$e_{HCl} = 8,290 \left[\frac{kg}{h} \right]$$

Emise HF.

$$e_{HF} = \frac{V_s^{6\%O_2} \cdot x_{HF}}{1 \cdot 10^6}$$

$$e_{HF} = \frac{82897 \cdot 15}{1 \cdot 10^6}$$

$$e_{HF} = 1,243 \left[\frac{kg}{h} \right]$$

Emise TZL.

$$e_{pop} = \frac{V_S^{6\%O_2} \cdot x_{pop}}{1 \cdot 10^6}$$

$$e_{pop} = \frac{82897 \cdot 24,79}{1 \cdot 10^6}$$

$$e_{pop} = 2,055 \left[\frac{kg}{h} \right]$$

Spotřeba sorbentu k odstranění SO₂.

$$Z_{SO_2} = e_{SO_2} \cdot \frac{M_s}{64} \cdot \frac{\left[\frac{Ca}{S} \right]}{u_{Ca}} \cdot \eta_{SO_2} \quad (5.44)$$

$$Z_{SO_2} = 74,193 \cdot \frac{74}{64} \cdot \frac{1,30}{0,93} \cdot 0,7877$$

$$Z_{SO_2} = 94,457 \left[\frac{kg}{h} \right]$$

Spotřeba sorbentu k odstranění SO₃.

$$Z_{SO_3} = e_{SO_3} \cdot \frac{M_s}{80} \cdot \frac{\left[\frac{Ca}{S} \right]}{u_{Ca}} \cdot \eta_{SO_3}$$

$$Z_{SO_3} = 0,829 \cdot \frac{74}{80} \cdot \frac{1,30}{0,93} \cdot 0,80$$

$$Z_{SO_3} = 0,857 \left[\frac{kg}{h} \right]$$

Spotřeba sorbentu k odstranění HCl.

$$Z_{HCL} = e_{HCL} \cdot \frac{M_s}{36,5} \cdot \frac{\left[\frac{Ca}{S} \right]}{u_{Ca}} \cdot \eta_{HCl}$$

$$Z_{HCL} = 8,290 \cdot \frac{74}{36,5} \cdot \frac{1,30}{0,93} \cdot 0,95$$

$$Z_{HCL} = 22,319 \left[\frac{kg}{h} \right]$$

Spotřeba sorbentu k odstranění HF.

$$Z_{HF} = e_{HF} \cdot \frac{M_s}{20} \cdot \frac{\left[\frac{Ca}{S} \right]}{u_{Ca}} \cdot \eta_{HF}$$

$$Z_{HF} = 1,243 \cdot \frac{74}{20} \cdot \frac{1,30}{0,93} \cdot 0,90$$

$$\underline{\underline{Z_{HF} = 5,786 \left[\frac{kg}{h} \right]}}$$

Celková spotřeba sorbentu.

$$Z_{cel} = Z_{SO_2} + Z_{SO_3} + Z_{HCl} + Z_{HF} \left[\frac{kg}{h} \right] \quad (5.45)$$

$$Z_{cel} = 94,457 + 0,857 + 22,319 + 5,786$$

$$\underline{\underline{Z_{cel} = 123,419 \left[\frac{kg}{h} \right]}}$$

Množství síranu vápenatého jako VPR spalin $CaSO_3 \cdot 0,5H_2O$.

$$e_{CaSO_3} = e_{SO_2} \cdot \frac{129}{64} \cdot \eta_{SO_2} \cdot 0,95 \left[\frac{kg}{h} \right] \quad (5.46)$$

$$e_{CaSO_3} = 74,193 \cdot \frac{129}{64} \cdot 0,7877 \cdot 0,95$$

$$\underline{\underline{e_{CaSO_3} = 111,907 \left[\frac{kg}{h} \right]}}$$

Množství síranu vápenatého jako VPR spalin $CaSO_4 \cdot 2H_2O$.

$$e_{CaSO_4} = e_{SO_2} \cdot \frac{172}{64} \cdot \eta_{SO_2} \cdot 0,05 + e_{SO_3} \cdot \frac{172}{80} \cdot \eta_{SO_3}$$

$$e_{CaSO_4} = 74,193 \cdot \frac{129}{64} \cdot 0,7877 \cdot 0,05 + 0,829 \cdot \frac{172}{80} \cdot 0,80$$

$$\underline{\underline{e_{CaSO_4} = 9,279 \left[\frac{kg}{h} \right]}}$$

Množství chloridu vápenatého jako VPR spalin $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

$$e_{\text{CaCl}_2} = e_{\text{HCl}} \cdot \frac{147}{36,5} \cdot \eta_{\text{HCl}}$$

$$e_{\text{CaCl}_2} = 8,290 \cdot \frac{147}{36,5} \cdot 0,95$$

$$e_{\text{CaCl}_2} = 18,089 \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

Množství fluoridu vápenatého jako VPR spalin CaF_2 .

$$e_{\text{CaF}_2} = e_{\text{HF}} \cdot \frac{80}{20} \cdot \eta_{\text{HF}}$$

$$e_{\text{CaF}_2} = 1,243 \cdot \frac{80}{20} \cdot 0,90$$

$$e_{\text{CaF}_2} = 1,476 \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

Množství uhličitanu vápenatého CaCO_3 vzniklého při karbonizaci sorbentu.

$$e_{\text{CaCO}_3} = \left[Z_{\text{cat}} - \left(e_{\text{SO}_2} \cdot \frac{M_s}{64 \cdot u_{\text{Ca}}} \cdot \eta_{\text{SO}_2} + Z_{\text{SO}_3} + Z_{\text{HCl}} + Z_{\text{HF}} \right) \right] \cdot 0,8 \cdot \frac{M_{\text{CaCO}_3}}{M_s}$$

$$e_{\text{CaCO}_3} = \left[123,419 - \left(74,193 \cdot \frac{74}{64 \cdot 0,93} \cdot 0,7877 + 0,857 + 22,319 + 5,786 \right) \right] \cdot 0,8 \cdot \frac{100}{74}$$

$$e_{\text{CaCO}_3} = 23,565 \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

Množství nezreagovaného sorbentu.

$$e_{\text{Ca(OH)}_2} = \left[Z_{\text{cat}} - \left(e_{\text{SO}_2} \cdot \frac{M_s}{64 \cdot u_{\text{Ca}}} \cdot \eta_{\text{SO}_2} + Z_{\text{SO}_3} + Z_{\text{HCl}} + Z_{\text{HF}} \right) \right] \cdot 0,3$$

$$e_{\text{Ca(OH)}_2} = \left[123,419 - \left(74,193 \cdot \frac{74}{64 \cdot 0,93} \cdot 0,7877 + 0,857 + 22,319 + 5,786 \right) \right] \cdot 0,3$$

$$e_{\text{Ca(OH)}_2} = 6,539 \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

Množství vedlejšího produktu po odsíření spalin.

$$e_{\text{prod}} = Z_{\text{cel}} \cdot (1 - u_{\text{Ca}}) + e_{\text{pop}} + e_{\text{CaSO}_3} + e_{\text{CaSO}_4} + e_{\text{CaCl}_2} + e_{\text{CaF}_2} + e_{\text{CaCO}_3} + e_{\text{Ca(OH)}_2}$$

$$e_{\text{prod}} = 123,419 \cdot (1 - 0,93) + 2,055 + 111,907 + 9,279 + 18,089 + 1,476 + 23,565 + 6,539$$

$$e_{\text{prod}} = 181,549 \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

Obsah síranu vápenatého $\text{CaSO}_3 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ v VPR.

$$\begin{aligned}
 x_{\text{CaSO}_3} &= \frac{e_{\text{CaSO}_3}}{e_{\text{prod}}} \\
 x_{\text{CaSO}_3} &= \frac{111,907}{181,549} \\
 x_{\text{CaSO}_3} &= 0,6164 \left[\frac{\text{kg}}{\text{kg}} \right]
 \end{aligned}
 \tag{5.47}$$

Obsah síranu vápenatého $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ v VPR.

$$\begin{aligned}
 x_{\text{CaSO}_4} &= \frac{e_{\text{CaSO}_4}}{e_{\text{prod}}} \\
 x_{\text{CaSO}_4} &= \frac{9,279}{181,549} \\
 x_{\text{CaSO}_4} &= 0,0511 \left[\frac{\text{kg}}{\text{kg}} \right]
 \end{aligned}$$

Obsah chloridu vápenatého $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ v VPR.

$$\begin{aligned}
 x_{\text{CaCl}_2} &= \frac{e_{\text{CaCl}_2}}{e_{\text{prod}}} \\
 x_{\text{CaCl}_2} &= \frac{18,089}{181,549} \\
 x_{\text{CaCl}_2} &= 0,0996 \left[\frac{\text{kg}}{\text{kg}} \right]
 \end{aligned}$$

Obsah fluoridu vápenatého CaF_2 v VPR.

$$\begin{aligned}
 x_{\text{CaF}_2} &= \frac{e_{\text{CaF}_2}}{e_{\text{prod}}} \\
 x_{\text{CaF}_2} &= \frac{1,476}{181,549} \\
 x_{\text{CaF}_2} &= 0,0081 \left[\frac{\text{kg}}{\text{kg}} \right]
 \end{aligned}$$

Obsah uhličitanu vápenného CaCO_3 v VPR.

$$x_{\text{CaCO}_3} = \frac{e_{\text{CaCO}_3}}{e_{\text{prod}}}$$

$$x_{\text{CaCO}_3} = \frac{23,565}{181,549}$$

$$x_{\text{CaCO}_3} = 0,1298 \left[\frac{\text{kg}}{\text{kg}} \right]$$

Obsah nezreagovaného sorbentu Ca(OH)_2 v VPR.

$$x_{\text{Ca(OH)}_2} = \frac{e_{\text{Ca(OH)}_2}}{e_{\text{prod}}}$$

$$x_{\text{Ca(OH)}_2} = \frac{6,539}{181,549}$$

(5.48)

$$x_{\text{Ca(OH)}_2} = 0,0360 \left[\frac{\text{kg}}{\text{kg}} \right]$$

Obsah popílku a inertu ze sorbentu v VPR.

$$x_{\text{pop}} = \frac{(e_{\text{pop}} + Z_{\text{cel}}(1 - u_{\text{Ca}}))}{e_{\text{prod}}}$$

$$x_{\text{pop}} = \frac{(2,055 + 123,419 \cdot (1 - 0,93))}{181,549}$$

(5.49)

$$x_{\text{pop}} = 0,0589 \left[\frac{\text{kg}}{\text{kg}} \right]$$

Doplnění vlhkosti do spalín v procesu odsíření.

Výpočty jsou provedeny pro dosažení koncové koncentrace vlhkosti ve spalínách, která je potvrzena bilancí tepla dosaženého spalínami a odebraného vodou. Počátek výpočtu je stanovení konečné koncentrace vlhkosti.

$$X_k = 0,1 \left[\frac{\text{kgA}}{\text{kgB}} \right]$$

$$W = \dot{m}_{\text{gs}} \cdot (X_K - X_P)$$

Alternativní výpočet objemu vody dodávané do reaktoru lze však pro výpočetní programy (např. makra v MS Excel) zjednodušit podle následujících výpočtových předpokladů. Výpočet obsahuje jistou nepřesnost která je pro tento návrh je nepodstatná.

Výpočtové předpoklady:

- Neměnný objem před a za reaktorem
- Podíly jednotlivých složek pro teploty t_1 i t_2 stejné
- Molární hmotnosti plynu 1 a 2 jsou totožné
- měrné teplo vody – $c_v = 4,19 \left[\frac{kJ}{kg \cdot K} \right]$
- teplota odpařování vody – $c_p = 2250 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$

Stanovení výpočtu molární substituce M_i .

$$\begin{aligned}
 M_i &= r_{N_2} \cdot M_{N_2} + r_{O_2} \cdot M_{O_2} + r_{H_2O} \cdot M_{H_2O} + r_{CO_2} \cdot M_{CO_2} + r_{SO_2} \cdot M_{SO_2} \\
 M_i &= 0,7579 \cdot 28 + 0,0575 \cdot 32 + 0,0655 \cdot 18 + 0,1187 \cdot 44 + 0,000281 \cdot 64 \\
 M_i &= 29,481 \left[\frac{kg}{kmol} \right]
 \end{aligned} \tag{5.50}$$

Výpočet počáteční entalpie dusíku na teplotě $t_1 = 150^\circ C$.

$$\begin{aligned}
 i_{N_2}^* &= -0,390444 + 1,10036 \cdot t - 0,000603245 \cdot t^2 + 1,97839 \cdot 10^{-6} \cdot t^3 - 2,149 \cdot 10^{-9} \cdot t^4 + \\
 &7,1364 \cdot 10^{-14} \cdot t^5 + 1,90286 \cdot 10^{-15} \cdot t^6 - 1,8152 \cdot 10^{-18} \cdot t^7 + 7,79352 \cdot 10^{-22} \cdot t^8 + \\
 &-1,64586 \cdot 10^{-25} \cdot t^9 + 1,38532 \cdot 10^{-29} \cdot t^{10} \\
 i_{N_2}^* &= -0,390444 + 1,10036 \cdot 150 - 0,000603245 \cdot (150)^2 + 1,97839 \cdot 10^{-6} \cdot (150)^3 + \\
 &-2,149 \cdot 10^{-9} \cdot (150)^4 + 7,1364 \cdot 10^{-14} \cdot (150)^5 + 1,90286 \cdot 10^{-15} \cdot (150)^6 - 1,8152 \cdot 10^{-18} \cdot (150)^7 + \\
 &+ 7,79352 \cdot 10^{-22} \cdot (150)^8 - 1,64586 \cdot 10^{-25} \cdot (150)^9 + 1,38532 \cdot 10^{-29} \cdot (150)^{10} \\
 i_{N_2}^* &= 156,704 \left[\frac{kJ}{kg} \right] \\
 i_{N_2} &= i_{N_2}^* \cdot M_{N_2} \\
 i_{N_2} &= 156,704 \cdot 28 \\
 i_{N_2} &= 4387,712 \left[\frac{J}{mol} \right]
 \end{aligned}$$

Výpočet počáteční entalpie kyslíku při teplotě $t_1 = 150^\circ\text{C}$.

$$i_{O_2}^* = -6,83528 + 0,957963 \cdot t + 9,23661 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 - 9,98918 \cdot 10^{-9} \cdot t^3$$

$$i_{O_2}^* = -6,83528 + 0,957963 \cdot 150 + 9,23661 \cdot 10^{-5} \cdot (150)^2 - 9,98918 \cdot 10^{-9} \cdot (150)^3$$

$$i_{O_2}^* = 138,904 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

$$i_{O_2} = i_{O_2}^* \cdot M_{O_2}$$

$$i_{O_2} = 138,904 \cdot 32$$

$$i_{O_2} = 4444,918 \left[\frac{\text{J}}{\text{mol}} \right]$$

Výpočet počáteční entalpie vody při teplotě $t_1 = 150^\circ\text{C}$.

$$i_{H_2O}^* = -1,23126 + 1,84236 \cdot t + 0,0002572311 t^2 + 6,67408 \cdot 10^{-8} \cdot t^3 - 2,22493 \cdot 10^{-11} \cdot t^4$$

$$i_{H_2O}^* = -1,23126 + 1,84236 \cdot 150 + 0,0002572311 (150)^2 + 6,67408 \cdot 10^{-8} \cdot (150)^3 - 2,22493 \cdot 10^{-11} \cdot (150)^4$$

$$i_{H_2O}^* = 281,124 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

$$i_{H_2O} = i_{H_2O}^* \cdot M_{H_2O}$$

$$i_{H_2O} = 281,124 \cdot 18$$

$$i_{H_2O} = 5060,240 \left[\frac{\text{J}}{\text{mol}} \right]$$

Výpočet počáteční entalpie oxidu uhličitého při teplotě $t_1 = 150^\circ\text{C}$.

$$i_{CO_2}^* = -3,66959 + 0,875602 \cdot t + 0,000343405 t^2 - 1,0759 \cdot 10^{-7} \cdot t^3 + 1,29718 \cdot 10^{-11} \cdot t^4$$

$$i_{CO_2}^* = -3,66959 + 0,875602 \cdot 150 + 0,000343405 (150)^2 - 1,0759 \cdot 10^{-7} \cdot (150)^3 + 1,29718 \cdot 10^{-11} \cdot (150)^4$$

$$i_{CO_2}^* = 135,041 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

$$i_{CO_2} = i_{CO_2}^* \cdot M_{CO_2}$$

$$i_{CO_2} = 135,041 \cdot 44$$

$$i_{CO_2} = 5941,794 \left[\frac{\text{J}}{\text{mol}} \right]$$

Výpočet počáteční entalpie oxidu siřičitého při teplotě $t_1 = 150^\circ\text{C}$.

$$i_{SO_2}^* = -1,16985 + 0,643026t + 0,000127382t^2 + 1,61981 \cdot 10^{-7} \cdot t^3 - 2,34655 \cdot 10^{-10} \cdot t^4 + 1,02634 \cdot 10^{-13} \cdot t^5$$

$$i_{SO_2}^* = -1,16985 + 0,643026 \cdot 150 + 0,000127382(150)^2 + 1,61981 \cdot 10^{-7} \cdot (150)^3 - 2,34655 \cdot 10^{-10} \cdot (150)^4 + 1,02634 \cdot 10^{-13} \cdot (150)^5$$

$$i_{SO_2}^* = 97,511 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

$$i_{SO_2} = i_{SO_2}^* \cdot M_{SO_2}$$

$$i_{SO_2} = 97,511 \cdot 64$$

$$i_{SO_2} = 6240,711 \left[\frac{\text{J}}{\text{mol}} \right]$$

Výpočet entalpie spalín při teplotě $t_1 = 150^\circ\text{C}$.

$$i_{spal1} = \frac{r_{N_2} \cdot i_{N_2} + r_{O_2} \cdot i_{O_2} + r_{H_2O} \cdot i_{H_2O} + r_{CO_2} \cdot i_{CO_2} + r_{SO_2} \cdot i_{SO_2}}{M_i}$$

$$= \frac{0,7579 \cdot 4387,712 + 0,0575 \cdot 4444,918 + 0,0655 \cdot 5060,240 + 0,1187 \cdot 5941,794 + 0,000281 \cdot 6240,711}{29,481}$$

$$i_{spal1} = 156,6948 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

Výpočet entalpie dusíku při teplotě $t_2 = 95^\circ\text{C}$.

$$i_{N_2}^{**} = -0,390444 + 1,10036 \cdot t - 0,000603245 \cdot t^2 + 1,97839 \cdot 10^{-6} \cdot t^3 - 2,149 \cdot 10^{-9} \cdot t^4 + 7,1364 \cdot 10^{-14} \cdot t^5 + 1,90286 \cdot 10^{-15} \cdot t^6 - 1,8152 \cdot 10^{-18} \cdot t^7 + 7,79352 \cdot 10^{-22} \cdot t^8 - 1,64586 \cdot 10^{-25} \cdot t^9 + 1,38532 \cdot 10^{-29} \cdot t^{10}$$

$$i_{N_2}^{**} = -0,390444 + 1,10036 \cdot 95 - 0,000603245 \cdot (95)^2 + 1,97839 \cdot 10^{-6} \cdot (95)^3 - 2,149 \cdot 10^{-9} \cdot (95)^4 + 7,1364 \cdot 10^{-14} \cdot (95)^5 + 1,90286 \cdot 10^{-15} \cdot (95)^6 - 1,8152 \cdot 10^{-18} \cdot (95)^7 + 7,79352 \cdot 10^{-22} \cdot (95)^8 - 1,64586 \cdot 10^{-25} \cdot (95)^9 + 1,38532 \cdot 10^{-29} \cdot (95)^{10}$$

$$i_{N_2}^{**} = 100,2225 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

$$i_{N_2}'' = i_{N_2}^{**} \cdot M_{N_2}$$

$$i_{N_2}'' = 100,2225 \cdot 28$$

$$i_{N_2}'' = 2806,23 \left[\frac{\text{J}}{\text{mol}} \right]$$

Výpočet entalpie kyslíku při teplotě $t_2 = 95^{\circ}\text{C}$.

$$i_{O_2}^{**} = -6,83528 + 0,957963 \cdot t + 9,23661 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 - 9,98918 \cdot 10^{-9} \cdot t^3$$

$$i_{O_2}^{**} = -6,83528 + 0,957963 \cdot 95 + 9,23661 \cdot 10^{-5} \cdot (95)^2 - 9,98918 \cdot 10^{-9} \cdot (95)^3$$

$$i_{O_2}^{**} = 84,99624 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

$$i''_{O_2} = i_{O_2}^{**} \cdot M_{O_2}$$

$$i''_{O_2} = 84,99624 \cdot 32$$

$$i''_{O_2} = 2719,8797 \left[\frac{\text{J}}{\text{mol}} \right]$$

Výpočet entalpie vodní páry při teplotě $t_2 = 95^{\circ}\text{C}$.

$$i_{H_2O}^{**} = -1,23126 + 1,84236 \cdot t + 0,0002572311 \cdot t^2 + 6,67408 \cdot 10^{-8} \cdot t^3 - 2,22493 \cdot 10^{-11} \cdot t^4$$

$$i_{H_2O}^{**} = -1,23126 + 1,84236 \cdot 95 + 0,0002572311 \cdot (95)^2 + 6,67408 \cdot 10^{-8} \cdot (95)^3 - 2,22493 \cdot 10^{-11} \cdot (95)^4$$

$$i_{H_2O}^{**} = 176,1212 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

$$i''_{H_2O} = i_{H_2O}^{**} \cdot M_{H_2O}$$

$$i''_{H_2O} = 176,1212 \cdot 18$$

$$i''_{H_2O} = 3170,1816 \left[\frac{\text{J}}{\text{mol}} \right]$$

Výpočet entalpie oxidu uhličitého při teplotě $t_2 = 95^{\circ}\text{C}$.

$$i_{CO_2}^{**} = -3,66959 + 0,875602 \cdot t + 0,000343405 \cdot t^2 - 1,0759 \cdot 10^{-7} \cdot t^3 + 1,29718 \cdot 10^{-11} \cdot t^4$$

$$i_{CO_2}^{**} = -3,66959 + 0,875602 \cdot 95 + 0,000343405 \cdot (95)^2 - 1,0759 \cdot 10^{-7} \cdot (95)^3 + 1,29718 \cdot 10^{-11} \cdot (95)^4$$

$$i_{CO_2}^{**} = 82,5206 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

$$i''_{CO_2} = i_{CO_2}^{**} \cdot M_{CO_2}$$

$$i''_{CO_2} = 82,5206 \cdot 44$$

$$i''_{CO_2} = 3630,9064 \left[\frac{\text{J}}{\text{mol}} \right]$$

Výpočet entalpie oxidu siřičitého při teplotě $t_2 = 95^\circ\text{C}$.

$$i_{SO_2}^{**} = -1,16985 + 0,643026 \cdot t + 0,000127382 \cdot t^2 + 1,61981 \cdot 10^{-7} \cdot t^3 - 2,34655 \cdot 10^{-10} \cdot t^4 + 1,02634 \cdot 10^{-13} \cdot t^5$$

$$i_{SO_2}^{**} = -1,16985 + 0,643026 \cdot 95 + 0,000127382 \cdot (95)^2 + 1,61981 \cdot 10^{-7} \cdot (95)^3 - 2,34655 \cdot 10^{-10} \cdot (95)^4 + 1,02634 \cdot 10^{-13} \cdot (95)^5$$

$$i_{SO_2}^{**} = 61,1878 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

$$i''_{SO_2} = i_{SO_2}^{**} \cdot M_{SO_2}$$

$$i''_{SO_2} = 61,1878 \cdot 64$$

$$i''_{SO_2} = 3916,0192 \left[\frac{\text{J}}{\text{mol}} \right]$$

Výpočet entalpie spalín při teplotě $t_2 = 95^\circ\text{C}$.

$$i_{spal2} = \frac{r_{N_2} \cdot i_{N_2} + r_{O_2} \cdot i_{O_2} + r_{H_2O} \cdot i_{H_2O} + r_{CO_2} \cdot i_{CO_2} + r_{SO_2} \cdot i_{SO_2}}{M_i}$$

$$i_{spal2} = \frac{0,7579 \cdot 2806,23 + 0,0575 \cdot 2719,8797 + 0,0655 \cdot 3170,1816 + 0,1187 \cdot 3630,9064}{29,481} +$$

$$+ \frac{0,000281 \cdot 3916,0192}{29,481}$$

$$i_{spal2} = 99,1476 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

Výpočet rozdílů entalpie spalín před a po ochlazení.

$$\Delta i_{spal1,2} = i_{spal1} - i_{spal2}$$

$$\Delta i_{spal1,2} = 156,6948 - 99,1476 = 57,5472 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

Výpočet hustoty spalín v normálních podmínkách.

$$\rho_{spal} = \frac{1,013 \cdot 10^5 (r_{N_2} \cdot 28 + r_{O_2} \cdot 32 + r_{CO_2} \cdot 44 + r_{SO_2} \cdot 64 + r_{H_2O} \cdot 18)}{8314 \cdot (t + 273)}$$

$$\rho_{spal} = \frac{1,013 \cdot 10^5 \cdot (0,7579 \cdot 28 + 0,0575 \cdot 32 + 0,1187 \cdot 44 + 0,000281 \cdot 64 + 0,0655 \cdot 18)}{8314 \cdot (0 + 273)}$$

$$\rho_{spal} = 1,315766 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}_N^3} \right]$$

Odsiřovací jednotka je navrhována dle požadavku Provozovatele a neodpovídá potřebám dle provedených výpočtů. Do výpočtů byly zahrnuty údaje běžně spalovaného paliva. Jelikož se situace s prodejem uhlí neustále mění, hledají se stále noví dodavatelé nejen u nás ale i v zahraničí, což znamená že může být v budoucnu spalováno i uhlí s větším obsahem SO_2 . Z tohoto důvodu je odsiřovací zařízení předimenzováno.

- Množství spalin o 34%
- Vstupní koncentrace SO_2 o 50%

Další alternativou pro využití tohoto předimenzování se jeví napojení kotle K 5, který je shodný s K 3 a 4.

6.1.2. Základní technický popis

Instalace polosuchého vápencového odsíření spalin technologií pneumatického reaktoru, s cirkulační fluidní loží která je určena pro odsíření spalin z parních kotlů K3 a K4.

Do společné odsiřovací jednotky budou zavedeny neodsířené spaliny z kotlů K3 a K4. Odsiřovací jednotka bude napojena na nový společný kouřovod a napojený na stávající kouřovody za komínovou klapou za stávajícími kouřovými ventilátory kotlů K3 a K4. Pro případ poruchy jednotky odsíření jsou spaliny vedeny bypasem do komína. Jednotlivé větve kouřovodu jsou samostatně schopny pomocí klapky přerušit přívod spalin jak do jednotky odsíření, tak do kouřovodů obtoku do komína č. 1.

Jako aditivum bude pro jednotku odsíření použito pálené vápno CaO , které bude dopravován do zásobníku aditiva pomocí pseudopravy. Zásobník aditiva bude mít všechna potřebná zařízení potřebná pro zajištění bezpečného provozu. Ze zásobníku aditiva CaO bude toto aditivum dopravováno do jednotky suchého hašení vápna (hydrátoru), kde po provedení hašení bude jako sorbent Ca(OH)_2 vedeno do zásobníku sorbentu Ca(OH)_2 . Zásobník sorbentu Ca(OH)_2 bude rovněž vybaven veškerým potřebným zařízením pro zajištění bezpečného provozu a pro dávkování sorbentu do reaktoru podle požadavků instalované technologie. Množství dopravovaného sorbentu bude prováděno v návaznosti na koncentraci SO_2 v neodsířených i odsířených spalinách a velikosti průtoku spalin. Ze zásobníku sorbentu Ca(OH)_2 bude tento sorbent pomocí trysky dávkován do odsiřovacího reaktoru. Pro případ poruchy hydrátoru, nebo případně poruch v dopravních trasách aditiva CaO bude možno použít sorbent Ca(OH)_2 , který bude možno navážet a plnit do zásobníku sorbentu Ca(OH)_2 pomocí autocisteren. Toto řešení lze použít také v případě nákupu sorbentu Ca(OH)_2 za ceny obdobné cenám aditiva CaO

a tím ušetřit finanční prostředky pro nákup energie a vodu potřebnou pro hašení aditiva CaO nákupem sorbentu $\text{Ca}(\text{OH})_2$ místo nákupu aditiva CaO.

Neodsířené spaliny budou vedeny ze společného potrubí kotlů K3 a K4 do spodní střední části fluidního reaktoru, kde dochází k turbulentnímu proudění, do kterého je prováděn rozstřík vody a ve kterém dochází rovněž ke kontaktu se sorbentem (hašeným vápnem $\text{Ca}(\text{OH})_2$), kde vznikají reakce s odsířením spalin a dále k absorpci kyselých složek ve spalinách. Do fluidního prostoru reaktoru je dále nastříkovan recirkulovaný produkt odsíření (skládající se z prachu a sorbentu $\text{Ca}(\text{OH})_2$). Potřebně projektovaný tvar vstupu a reaktoru a tlakový rozdíl Δp způsobí, že je jednak stabilizována poloha fluidního lože v reaktoru a dále dojde, vzhledem k relativně nízké rychlosti a vlhkosti k usazení částic z fluidního lože na vnitřní straně reaktoru, čímž vytvoří ochrannou vrstvu chránící vnitřní povrch reaktoru před korozí a otěrem.

Proud odsířených spalin obsahující pevné částice prachu a recirkulovaný VPR (vedlejší produkt po odsíření) je veden do pulzního látkového filtru. Při průtoku spalin filtrační komorou látkového filtru dochází k zachycení prachových částic a pevných částí sorbentu na vnějším povrchu látky hadicových filtrů a dodatečné reakci mezi volným hydrátem aditiva a kyselými složkami spalin. Zachycené části jsou částečně zachyceny na hadicových filtrech a částečně opadají do vyhřívaných výsypek (zajištění snížení tvorby nánosů z důvodu vlhkosti, případně snížení teplot atd.). Zachycené pevné částice na vnějším povrchu látky hadicových filtrů jsou uvolňovány působením pulzního dávkování stlačeného vzduchu nasměrovaného do vnitřních částí jednotlivých hadicových filtrů a padají do výsypek látkového filtru.

Z výsypek látkového filtru přestupují pevné částice vedlejšího produktu po odsíření (VPR) do provzdušňovaných dopravních van, které jsou pod určitým sklonem napojeny na recirkulační potrubí, pomocí kterého je dopravován VPR zpět do reaktoru a výše popsaná operace se opakuje. V provzdušňovací vaně jsou umístěny provzdušňovací žlaby, které mají funkci zamezení usazování VPR a kterými proudí ohřátý vzduch z elektrického ohřívače stlačeného vzduchu pro pseudopřevod.

Ve skloněné provzdušňovací vaně jsou umístěny snímače výšky nánosů pevných částic vedlejšího produktu odsíření (VPR). Vzhledem k tomu, že s přibývajícím množstvím usazenin vzniká nutnost odebrat zbytkový produkt po odsíření (VPR), po dosažení určité výšky produktu odsíření VPR v provzdušňovací vaně dochází na základě impulsu výškového snímače hladiny k zahájení odčerpávání zbytkového usazeného produktu po odsíření VPR pomocí pneu dopravy do rotačního podávače do zásobníku vedlejšího produktu po odsíření VPR. Bočními výpady z fluidizačních výsypek umístěnými pod výstupními výsypkami látkového filtru bude VPR odváděn pomocí fluidních dopravních

žlabů do prostoru mezi výsyvky, kde bude umístěn sběrný mezizásobník VPR o objemu 3 m³.

Vedlejší produkt po odsíření (VPR) bude odebírán z fluidizační výsyvky do sběrného mezizásobníku rotačním podavačem, který zároveň slouží jako tlakový uzávěr proti přísávání vzduchu do recirkulačního systému. Sběrný mezizásobník bude osazen provzdušňovacím systémem, hladinovými snímači max. a min. hladiny produktu odsíření v mezizásobníku.

Systém pneumatické dopravy VPR ze sběrného mezizásobníku bude řešen dvěma dopravními trasami. Jedna dopravní trasa bude provozní a druhá trasa bude záložní. Vedlejší produkt po odsíření bude dopravován středotlakou dmychadlovou pneumatickou dopravou. Doprava VPR bude probíhat cyklicky dle provozních podmínek filtru.

Vedlejší produkt po odsíření bude ze sběrného mezizásobníku dávkován do ejektoru pneumatické dopravy rotačním podavačem. V ejektoru bude VPR unášen dopravním tlakovým vzduchem do potrubí pneumatické dopravy. Potrubí pneumatické dopravy bude v ocelovém provedení a bude vybavené oblouky z otěruvzdorného materiálu. Toto potrubí bude vedeno od mezizásobníku směrem do zásobníku VPR. Zásobník VPR, bude umístěn v prostoru vedle látkového filtru technologie jednotky odsíření. Dopravní potrubí bude na střeše zásobníku zaústěno do koncového boxu pneumatické dopravy.

Zařízení pro dopravu VPR - dopravní cesty, sběrný mezizásobník, dávkovací rotační podavače a potrubí pneumatické dopravy, budou z důvodu možnosti vzniku kondenzační teploty zaizolovány

6.1.3. Látkový filtr

Látkové filtry Pulse Jet jsou plně automatizované s výkonným čištěním pomocí pulzního tlakového vzduchu s vysokou účinností. Tyto filtry jsou charakterizovány nízkou spotřebou energie, vysokou spolehlivostí a snadností obsluhy.

Projektovaný látkový filtr se skládá z osmi samostatných filtračních komor, situovaných ve dvou řadách po čtyřech filtračních komorách.

Odsířené spaliny vystupující z fluidního reaktoru jsou vedeny kouřovodem „špinavých spalin“ do filtračních komor látkového filtru. Tento kouřovod má proměnlivý průřez zmenšující se po celé jeho délce. Díky tomuto řešení rychlost neodprášených spalin na stabilní úrovni a tím zajišťuje optimální rozložení proudění spalin uvnitř filtru. Kromě této skutečnosti, díky změně průřezu kouřovodu „špinavých spalin“, dochází k odstranění turbulentního proudění spalin s prachem uvnitř látkového filtru. Následně

jsou neodprášené spaliny vedeny pomocí vstupních nátrubků nebo úkosem umístěných kanálků do jednotlivých komor s rukávci. Uvnitř těchto kanálků jsou umístěny pneumatické klapky neodprášených spalin. Za účelem optimálního rozložení spalin ve filtru je do komory před vstupní kanál instalována přepážka, která rovněž chrání látku rukávců před přímým proudem neodsířených spalin. Přímě nad kouřovodem neodsířených spalin je situován sběrný kouřovod odsířených spalin s obdélníkovým průřezem s instalovanými talířovými klapkami, rozděluje jednotlivé komory.

Komora neodsířených spalin je oddělena od komory spalin odsířených pomocí síťových plechů. V tomto plechu jsou otvory, na kterých jsou uchyceny filtrační rukávce s podpěrnými koši. Koše jsou součástí zpevnění a vyztužení jednotlivých filtračních hadic a to tak, aby se zabránilo případnému tření mezi jednotlivými filtračními hadicemi. Funkcí košů je především zajistit stabilní a vzpřímenou polohu filtračních rukávců. Neodsířené spaliny vstupují do komory filtru, přes vnější plochu filtračních rukávců. Na vnější ploše filtračních rukávců se vytváří vrstva zachyceného prachu s částicemi sorbentu tzv. filtrační koláč, který způsobuje tlakovou ztrátu. Na základě rozdílu tlaku mezi vstupem do filtru a výstupem z filtru dojde k situaci, kdy tlakový rozdíl stoupne nad jmenovitou nastavenou hodnotu Δp , která je okamžitě detekována měřícím a řídicím systémem filtru a spouští se systém čištění látky filtračních rukávců

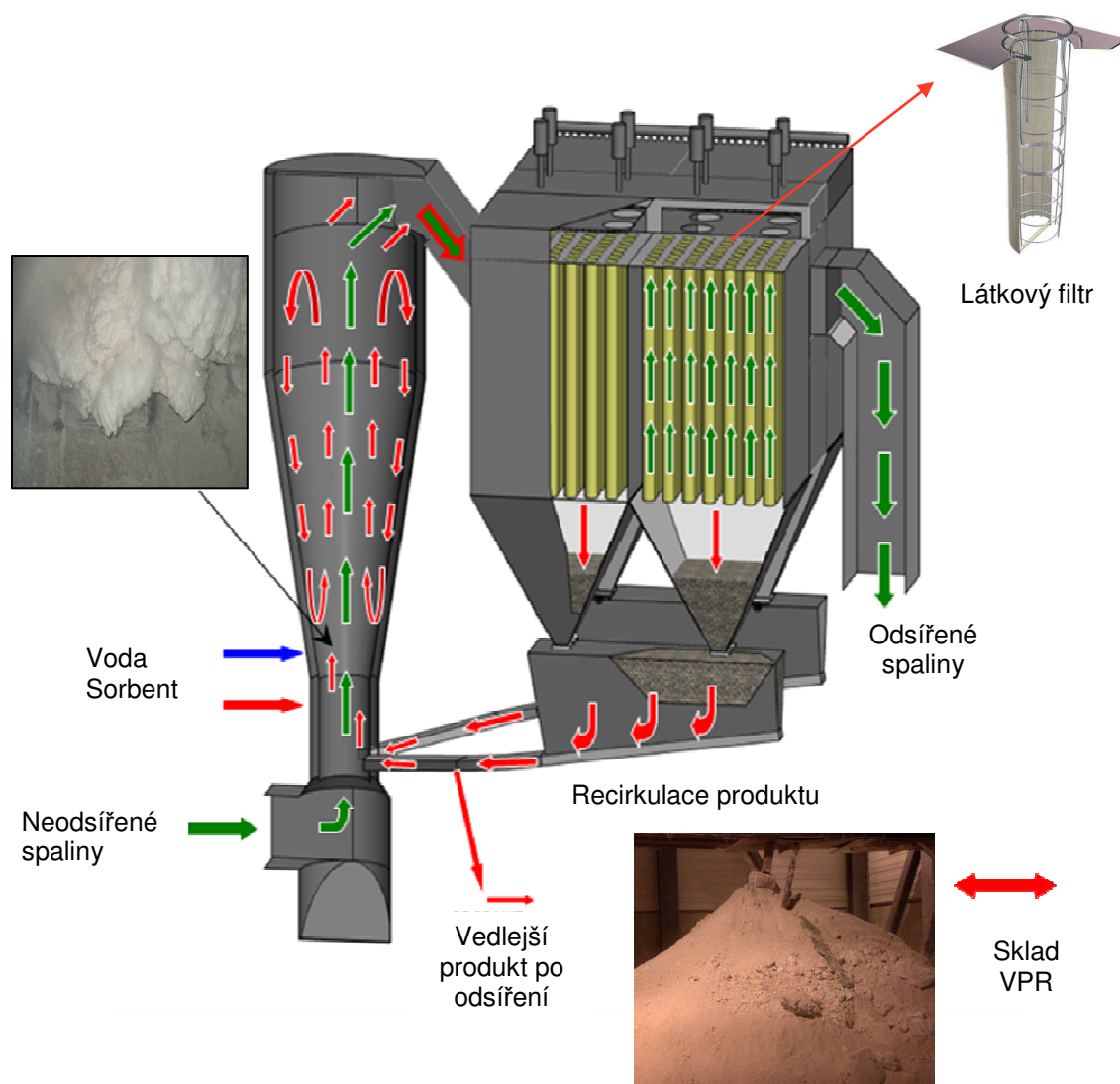
Filtrační hadice je umístěna přímo v koši a usazena na síťovém plechu filtru, který má v horní části dvojitou přírubu s těsně přiléhajícím plstěným těsněním k síťovému plechu, prostupujícím mezi přírubami. Uvnitř filtrační hadice je upevněn elastický zpevňující a utěšňující prstenec, zajišťující řádné upevnění upínacích přírub na síťovém plechu.

Pod každou komorou se nachází výsypka pevných částic, které jsou složené z prachu a zbytků sorbentu. Táto výsypka má tvar komolého jehlanu. Má monolitickou konstrukci se stěnami vyztuženými z vnější strany pomocí žeber z válcovaných profilů. Aby bylo možné provádět místní revize vnitřních částí je do jedné z jeho stran proveden kontrolní vstup s rozměry $\varnothing 800$ mm.

Filtr bude opatřen kompletem upínek umožňujících jeho upevnění na ocelové konstrukci, podesty vstupních otvorů do výsypek pro obsluhu, podestou umístěnou pod kouřovodem neodsířených spalin a podestou na úrovni střechy filtru (pokrývá celou horní plochu filtru)

U jednotlivých filtračních komor, které jsou vyloučené z provozu je možno provádět jejich revizi v průběhu provozu tkaninového filtru, aniž by byla nutnost odstavit celý filtr z provozu. Provoz filtru s jednou komorou mimo provoz je možný po dobu 24 hodin. Výměnu filtračních hadic je možno provádět v průběhu provozu filtru. Filtr bude obsahovat zabezpečení před překročením mezních nastavených parametrů, limitujících provoz

filtračních hadic, jako jsou teplota, pokles tlaku, pokles tlaku tlakového vzduchu. Nepředpokládá se, že prachové částice budou skladovány ve výsypkách (provoz filtrů probíhá s prázdnými zásobníky). Za účelem odstraňování nánosů pevných částic ve výsypce bude sloužit buď vibrátor, nebo bude čištění probíhat pomocí ručních pomůcek. Základní systém regenerace filtru „on line“ (regenerace filtračních hadic v průběhu provozu filtru) s možností nastavení systému „of line“ s vypnutím komory.



Obrázek 6.1 – Schéma fluidního reaktoru a filtru

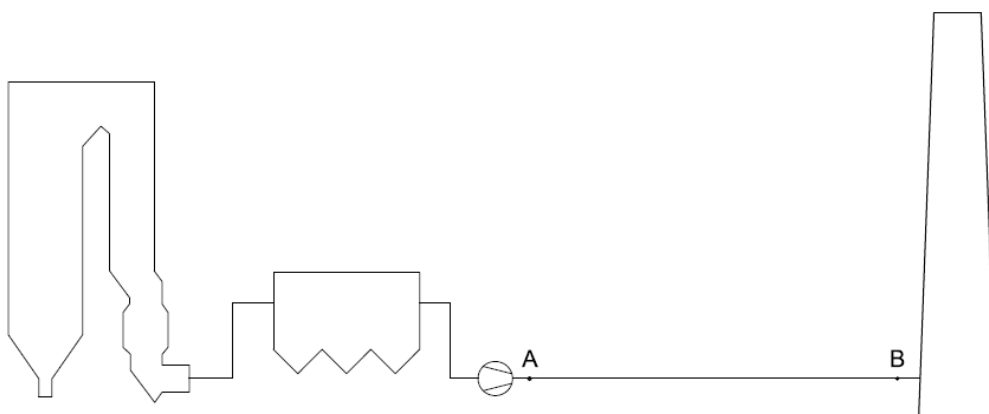
6.1.4. Posilovací kouřový ventilátor

Pro překonání tlakové ztráty technologie odsíření bude dodán a nainstalován na společném kouřovodu odvádějícím odsířené spaliny z odsiřovací jednotky (za látkovým filtrem) do stávajícího komína č. 1 nový posilovací kouřový radiální ventilátor včetně zařízení pro regulaci průtoku a tlaku spalin a to při použití frekvenčního měniče.

Nový posilovací tlakový ventilátor bude řízen od nastavené hodnoty podtlaku za odsiřovací jednotkou.

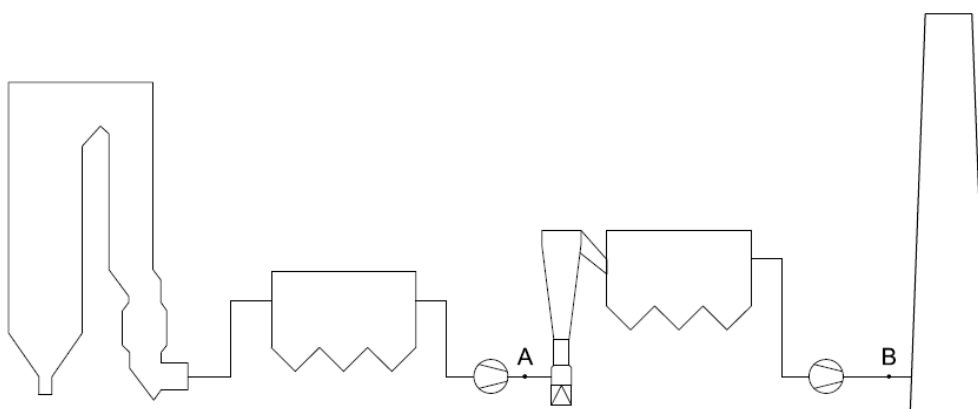
7. Návrh pomocného ventilátoru spalin

Pro výběr pomocného ventilátoru spalin je nejdříve nutno provést výpočet tlakových ztrát při průtoku spalin přes jednotku odsíření spalin. Viz níže uvedené schématické nákresy



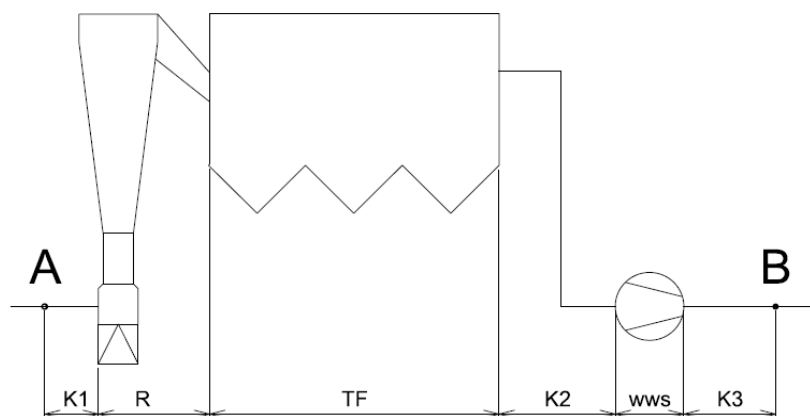
Obrázek 7.1 – Schéma stávajícího stavu

Jednotka odsíření spalin bude umístěna mezi body A a B.



Obrázek 7.2 – Schéma umístění odsiřovací jednotky

Tlaková ztráta mezi body A a B je rovna součtu tlakových ztrát jednotlivých částí, jako jsou potrubí spalín před reaktorem, reaktor, látkový filtr, potrubí spalín za látkovým filtrem k pomocnému ventilátoru spalín a potrubí spalín za pomocným ventilátorem do komína.



Obrázek 7.3 – Schéma sekcí odsířovací jednotky

7.1 Celková tlaková ztráta mezi body A a B - Δp_{AB} .

$$\Delta p_{AB} = \Delta p_{K1} + \Delta p_R + \Delta p_{TF} + \Delta p_{K2} + \Delta p_{K3} [Pa] \quad (7.1)$$

Δp_{K1} - Tlaková ztráta v potrubí spalín při průtoku spalín mezi ventilátorem spalín a reaktorem.

Δp_R - Tlaková ztráta při průtoku spalín přes reaktor – volím 1500 Pa – hodnota daná výrobcem (je předmětem know – how společnosti RAFAKO s.a.).

Δp_{TF} - Tlaková ztráta při průtoku přes látkový filtr – volím 1600 Pa hodnota daná výrobcem (je předmětem know – how společnosti RAFAKO s.a. a je v hranicích 1200 – 1600 Pa).

Δp_{K2} - Tlaková ztráta při průtoku potrubím spalín mezi látkovým filtrem a pomocným ventilátorem spalín.

Δp_{K3} – Tlaková ztráta při průtoku potrubím spalín mezi pomocným ventilátorem spalín a komínem.

7.1.1. Výpočet Δp_{K1} – tlaková ztráta při průtoku spalin přes potrubí spalin mezi ventilátorem spalin a reaktorem.

$$\Delta p_{K1} = \Sigma \Delta p_{K1_{\text{prouděním}}}, \Delta p_{K1_{\text{místní}}}$$

$\Delta p_{K1_{\text{prouděním}}}$ – tlakové ztráty prouděním

$\Delta p_{K1_{\text{místní}}}$ – tlaková ztráta místní

Tlakové ztráty prouděním [3]

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\rho v^2}{2} [Pa] \quad (7.2)$$

Kde :

λ – součinitel tření a relativní drsnost potrubí

L – délka potrubí [m]

D – průměr [m]

ρ – hustota spalin [kg/m^3]

v – rychlost průtoku spalin [m/s]

Výpočet místních ztrát [3]

$$\Delta p = \frac{v^2 \cdot \rho}{2} \cdot \left(\lambda \frac{L}{D} + \zeta_1 + \zeta_2 + \dots \right) [Pa] \quad (7.3)$$

ζ_i – součinitel místních tlakových ztrát

λ – součinitel tření

podle $Re < 2100$:

$$\lambda = \frac{a}{Re} \quad (7.4)$$

Součinitel „ a „ je podle literatury [3]:

- kruhové **$a = 64$**
- hranaté **$a = 57$**

Re – Reynoldsovo číslo.

$$Re = \frac{uD\rho}{\eta} \quad (7.5)$$

D – průměr [m],

u – rychlost spalin [m/s],

ρ – hustota spalin [kg/m³],

η – dynamická viskozita spalin [Pa·s]

$$\text{Pro objem spalin } Q_{\text{spalin } 160^\circ\text{C}} = 380660 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] = 105,74 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$$

Výpočet průměru kouřovodu

- Průřez kouřovodu pro $Q_{\text{spalin } 160^\circ\text{C}}$:

Rychlost spalin v potrubí volím menší než $18 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

$$Q_{\text{spalin } 160^\circ\text{C}} = 105,74 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] \quad (7.6)$$

$$S_K = \frac{Q_{\text{spalin } 160^\circ\text{C}}}{v_{\text{spalin}}} [\text{m}^2]$$

$$S_K = \frac{105,74}{18}$$

$$\underline{\underline{S_K = 5,874 [\text{m}^2]}}$$

Z toho vyplývá:

$$S_K = \frac{\pi \cdot D_K^2}{4} \rightarrow D_K = \sqrt{\frac{4 \cdot S_K}{\pi}} [\text{m}] \quad (7.7)$$

$$D_K = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,874}{\pi}}$$

$$\underline{\underline{D_K = 2,735 [\text{m}]}}$$

Volím průměr kouřovodu: $D_{K1} = 2,8 \text{ m}$

Rychlost spalin pro D_{K1}

$$v_{spalinK1} = \frac{Q_{spalin160^{\circ}C}}{S_K} \left[\frac{m}{s} \right] \quad (7.8)$$

$$v_{spalinK1} = \frac{Q_{spalin160^{\circ}C}}{\left(\frac{\pi \cdot D_{K1}^2}{4} \right)}$$

$$v_{spalinK1} = \frac{105,74}{\left(\frac{\pi \cdot 2,8^2}{4} \right)}$$

$$v_{spalinK1} = 17,172 \left[\frac{m}{s} \right] \rightarrow v_{spalinK1} = 17,2 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Výpočet hustoty spalin při normálních podmínkách.

$$\rho_{spal} = \frac{1,013 \cdot 10^5 (r_{N_2} \cdot 28 + r_{O_2} \cdot 32 + r_{CO_2} \cdot 44 + r_{SO_2} \cdot 64 + r_{H_2O} \cdot 18)}{8314 \cdot (t + 273)} \left[\frac{kg}{m_N^3} \right] \quad (7.9)$$

$$\rho_{spal} = \frac{1,013 \cdot 10^5 \cdot (0,7579 \cdot 28 + 0,0575 \cdot 32 + 0,1187 \cdot 44 + 0,000281 \cdot 64 + 0,0655 \cdot 18)}{8314 \cdot (0 + 273)}$$

$$\rho_{spal} = 1,315766 \left[\frac{kg}{m_N^3} \right]$$

Hustota spalin pro daný úsek K1:

p – statický tlak v úseku K1 = - 800 Pa

t – teplota spalin v úseku K1 = 160 °C

$$\rho_{spalK1} = \frac{p(r_{N_2} \cdot 28 + r_{O_2} \cdot 32 + r_{CO_2} \cdot 44 + r_{SO_2} \cdot 64 + r_{H_2O} \cdot 18)}{8314 \cdot (t + 273)} \left[\frac{kg}{m_N^3} \right] \quad (7.10)$$

$$\rho_{spalK1} = \frac{1,005 \cdot 10^5 \cdot (0,7579 \cdot 28 + 0,0575 \cdot 32 + 0,1187 \cdot 44 + 0,000281 \cdot 64 + 0,0655 \cdot 18)}{8314 \cdot (160 + 273)}$$

$$\rho_{spalK1} = 0,823019 \left[\frac{kg}{m_N^3} \right]$$

Dynamická viskozita spalin

η – dynamická viskozita spalin

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (7.11)$$

Kinematická viskozita ν , někdy označená jako kinetická, je poměr dynamické viskozity a hustoty spalin.

Bereme v úvahu kinetickou viskozitu $\nu = 0,00003 \text{ m}^2/\text{s}$ [3]

$$\eta = \nu \cdot \rho$$

Výpočet Reynoldsova čísla

$$\text{Re} = \frac{\nu_{spalinK1} \cdot D_{K1} \cdot \rho_{spalK1}}{\eta} \quad (7.12)$$

$$\text{Re} = \frac{\nu_{spalinK1} \cdot D_{K1} \cdot \rho_{spalK1}}{\nu \cdot \rho_{spalK1}}$$

$$\text{Re} = \frac{17,2 \cdot 2,8 \cdot 0,823019}{0,00003 \cdot 0,823019} \quad (7.13)$$

$$\text{Re} = 1605333$$

Výpočet součinitele tření (λ) podle Reynoldsova čísla [3]

$$\lambda = 0,0054 + 0,396 \cdot \text{Re}^{-0,3}$$

$$\lambda = 0,0054 + 0,396 \cdot 1605333^{-0,3} \quad (7.14)$$

$$\lambda = 0,010845$$

Předpokládaná délka kouřovodu v úseku K1:

- Délka $L = 80 \text{ m}$
- Segmentová kolena 90° , množství 3 ks
- Difuzor z $D=2000 \text{ mm}$ na $D = 2800 \text{ mm}$ pod úhlem 60°
- T kus 90° z $D=2000$ na $D = 2800 \text{ mm}$

V pozici 2-4 je počítáno s místním odporem. V souvislosti s tímto budou níže popsané součinitele lokálních odporů ζ_i .

Pozice 2 - Segmentové koleno 90°

$\zeta_1 = 0,5[\text{Pa}]$ pro $D/R = 1$ množství segmentů - 3

Pozice 3 – difuzor z $D_1=2000$ na $D_2 = 2800$ mm, úhel 60°

pro úhel 60° - $k = 1,12$

$$\zeta_2 = k \cdot \left(1 - \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2 \right)^2 [\text{Pa}] \quad (7.15)$$

$$\zeta_2 = 1,12 \cdot \left(1 - \left(\frac{2}{2,8} \right)^2 \right)^2$$

$$\zeta_2 = 0,268[\text{Pa}]$$

Pozice 4 – T kus 90° z $D_1=2000$ na $D_2 = 2800$ mm kde pro D_1 množství spalin $Q_1 = 50\%$ a celkové množství D_2 množství spalin je $Q_2 = 100\%$

$$Q_1 / Q_2 = 0,5$$

$$\zeta_3 = 0,578 [\text{Pa}] \text{ pro } Q_1 / Q_2 = 0,5 \text{ úhel } 90^\circ [2]$$

Tlaková ztráta pro K1

$$\Delta p = \frac{v^2 \cdot \rho}{2} \cdot \left(\lambda \frac{L}{D} + \zeta_1 + \zeta_2 + \dots \right) [\text{Pa}] \quad (7.16)$$

$$\Delta p_{K1} = \frac{17,2^2 \cdot 0,823019}{2} \cdot \left(0,010845 \cdot \frac{80}{2,8} + (0,5 \cdot 3) + 0,268 + 0,578 \right)$$

$$\underline{\underline{\Delta p_{K1} = 323,3[\text{Pa}]}}$$

7.1.2. Výpočet Δp_{K2} – tlaková ztráta v potrubí spalin mezi látkovým filtrem a pomocným ventilátorem spalin.

$$\Delta p_{K2} = \Sigma \Delta p_{K2_{\text{prouděním}}}, \Delta p_{K2_{\text{místní}}}$$

$\Delta p_{K2_{\text{prouděním}}}$ – tlakové ztráty prouděním

$\Delta p_{K2_{\text{místní}}}$ – tlaková ztráta místní

Pro objem spalín $Q_{\text{spalín } 95^{\circ}\text{C}} = 341040 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] = 94,73 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$

Výpočet průměru kouřovodu

- Průřez kouřovodu pro $Q_{\text{spalín } 95^{\circ}\text{C}}$:

Rychlost spalín v potrubí volím menší než $18 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

$$Q_{\text{spalín } 95^{\circ}\text{C}} = 94,73 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$$

$$S_K = \frac{Q_{\text{spalín } 95^{\circ}\text{C}}}{v_{\text{spalín}}} \left[\text{m}^2 \right]$$

$$S_K = \frac{94,73}{18}$$

$$\underline{\underline{S_K = 5,263 \left[\text{m}^2 \right]}}$$

Z toho vyplývá:

$$S_K = \frac{\pi \cdot D_K^2}{4} \rightarrow D_K = \sqrt{\frac{4 \cdot S_K}{\pi}} \left[\text{m} \right]$$

$$D_K = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,263}{\pi}}$$

$$\underline{\underline{D_K = 2,589 \left[\text{m} \right]}}$$

Volím průměr kouřovodu: $D_{K2} = 2,6 \text{ m}$

Rychlost spalín pro D_{K2}

$$v_{\text{spalín } K2} = \frac{Q_{\text{spalín } 95^{\circ}\text{C}}}{S_K} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

$$v_{spalinK2} = \frac{Q_{spalin95^{\circ}C}}{\left(\frac{\pi \cdot D_{K2}^2}{4}\right)}$$

$$v_{spalinK2} = \frac{94,73}{\left(\frac{\pi \cdot 2,6^2}{4}\right)}$$

$$v_{spalinK2} = 17,85 \left[\frac{m}{s} \right] \rightarrow v_{spalinK2} = 17,9 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Výpočet hustoty spalin při normálních podmínkách.

$$\rho_{spal} = \frac{1,013 \cdot 10^5 (r_{N2} \cdot 28 + r_{O2} \cdot 32 + r_{CO2} \cdot 44 + r_{SO2} \cdot 64 + r_{H2O} \cdot 18)}{8314 \cdot (t + 273)} \left[\frac{kg}{m_N^3} \right]$$

$$\rho_{spal} = \frac{1,013 \cdot 10^5 \cdot (0,7579 \cdot 28 + 0,0575 \cdot 32 + 0,1187 \cdot 44 + 0,000281 \cdot 64 + 0,0655 \cdot 18)}{8314 \cdot (0 + 273)}$$

$$\rho_{spal} = 1,315766 \left[\frac{kg}{m_N^3} \right]$$

Hustota spalin pro daný úsek K2:

p – statický tlak v úseku K2 = -2900 Pa

t – teplota spalin v úseku K2 = 95 °C

$$\rho_{spalK2} = \frac{p(r_{N2} \cdot 28 + r_{O2} \cdot 32 + r_{CO2} \cdot 44 + r_{SO2} \cdot 64 + r_{H2O} \cdot 18)}{8314 \cdot (t + 273)} \left[\frac{kg}{m_N^3} \right]$$

$$\rho_{spalK2} = \frac{0,984 \cdot 10^5 \cdot (0,7579 \cdot 28 + 0,0575 \cdot 32 + 0,1187 \cdot 44 + 0,000281 \cdot 64 + 0,0655 \cdot 18)}{8314 \cdot (95 + 273)}$$

$$\rho_{spalK2} = 0,948155 \left[\frac{kg}{m_N^3} \right]$$

Dynamická viskozita spalin

η – dynamická viskozita spalin

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

Kinematická viskozita ν , někdy označená jako kinetická, je poměr dynamické viskozity a hustoty spalin

Bereme v úvahu kinetickou viskozitu $\nu = 0,00003 \text{ m}^2/\text{s}$ [3]

$$\eta = \nu \cdot \rho$$

Výpočet Reynoldsova čísla

$$\text{Re} = \frac{\nu_{\text{spalínK2}} \cdot D_{\text{K2}} \cdot \rho_{\text{spalK2}}}{\eta}$$

$$\text{Re} = \frac{\nu_{\text{spalínK2}} \cdot D_{\text{K2}} \cdot \rho_{\text{spalK2}}}{\nu \cdot \rho_{\text{spalK2}}}$$

$$\text{Re} = \frac{17,9 \cdot 2,6 \cdot 0,948155}{0,00003 \cdot 0,948155}$$

$$\text{Re} = 1551333$$

Výpočet součinitele tření (λ) podle Reynoldsova čísla [3]

$$\lambda = 0,0054 + 0,396 \cdot \text{Re}^{-0,3}$$

$$\lambda = 0,0054 + 0,396 \cdot 1551333^{-0,3}$$

$$\lambda = 0,010902$$

Předpokládaná délka kouřovodu v úseku K2:

- Délka $L = 18 \text{ m}$
- Segmentová kolena 90° , množství 1 ks

Pozice 2 - Segmentové koleno 90°

$\zeta_1 = 0,5$ [Pa] pro $D/R = 1$ množství segmentů - 1

Tlaková ztráta pro K2

$$\Delta p = \frac{\nu^2 \cdot \rho}{2} \cdot \left(\lambda \frac{L}{D} + \zeta_1 + \zeta_2 + \dots \right) [\text{Pa}]$$

$$\Delta p_{\text{K2}} = \frac{17,9^2 \cdot 0,948155}{2} \cdot \left(0,010902 \cdot \frac{18}{2,6} + 0,5 \right)$$

$$\Delta p_{\text{K2}} = 87,41 [\text{Pa}]$$

7.1.3. Výpočet Δp_{K3} – tlaková ztráta v potrubí spalin mezi pomocným ventilátorem spalin a komínem

$$\Delta p_{K3} = \Sigma \Delta p_{K3 \text{ prouděním}}, \Delta p_{K3 \text{ místní}}$$

$\Delta p_{K3 \text{ prouděním}}$ – tlakové ztráty prouděním

$\Delta p_{K3 \text{ místní}}$ – tlaková ztráta místní

$$\text{Pro objem spalin } Q_{\text{spalin } 93^\circ\text{C}} = 341038 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] = 94,73 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$$

Výpočet průměru kouřovodu

- Průřez kouřovodu pro $Q_{\text{spalin } 93^\circ\text{C}}$:

Rychlost spalin v potrubí volím menší než $18 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

$$Q_{\text{spalin } 95^\circ\text{C}} = 94,73 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$$

$$S_K = \frac{Q_{\text{spalin } 95^\circ\text{C}}}{v_{\text{spalin}}} [\text{m}^2]$$

$$S_K = \frac{94,73}{18}$$

$$\underline{\underline{S_K = 5,263 \text{ m}^2}}$$

Z toho vyplývá:

$$S_K = \frac{\pi \cdot D_K^2}{4} \rightarrow D_K = \sqrt{\frac{4 \cdot S_K}{\pi}} [\text{m}]$$

$$D_K = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,263}{\pi}}$$

$$\underline{\underline{D_K = 2,589 [\text{m}]}}$$

Volím průměr kouřovodu: $D_{K3} = 2,6 \text{ m}$

Rychlost spalin pro D_{K3}

$$v_{\text{spalin } K3} = \frac{Q_{\text{spalin } 93^\circ\text{C}}}{S_K} [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$$

$$v_{spalinK3} = \frac{Q_{spalin93^{\circ}C}}{\left(\frac{\pi \cdot D_{K2}^2}{4}\right)}$$

$$v_{spalinK3} = \frac{94,73}{\left(\frac{\pi \cdot 2,6^2}{4}\right)}$$

$$v_{spalinK3} = 17,85 \left[\frac{m}{s} \right] \rightarrow v_{spalinK3} = 17,9 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Výpočet hustoty spalin při normálních podmínkách.

$$\rho_{spal} = \frac{1,013 \cdot 10^5 (r_{N2} \cdot 28 + r_{O2} \cdot 32 + r_{CO2} \cdot 44 + r_{SO2} \cdot 64 + r_{H2O} \cdot 18)}{8314 \cdot (t + 273)} \left[\frac{kg}{m_N^3} \right]$$

$$\rho_{spal} = \frac{1,013 \cdot 10^5 \cdot (0,7579 \cdot 28 + 0,0575 \cdot 32 + 0,1187 \cdot 44 + 0,000281 \cdot 64 + 0,0655 \cdot 18)}{8314 \cdot (0 + 273)}$$

$$\rho_{spal} = 1,315766 \left[\frac{kg}{m_N^3} \right]$$

Hustota spalin pro daný úsek K3:

p – statický tlak v úseku K3 = +200 Pa

t – teplota spalin v úseku K3 = 93 °C

$$\rho_{spalK3} = \frac{p(r_{N2} \cdot 28 + r_{O2} \cdot 32 + r_{CO2} \cdot 44 + r_{SO2} \cdot 64 + r_{H2O} \cdot 18)}{8314 \cdot (t + 273)} \left[\frac{kg}{m_N^3} \right]$$

$$\rho_{spalK3} = \frac{1,015 \cdot 10^5 \cdot (0,7579 \cdot 28 + 0,0575 \cdot 32 + 0,1187 \cdot 44 + 0,000281 \cdot 64 + 0,0655 \cdot 18)}{8314 \cdot (93 + 273)}$$

$$\rho_{spalK3} = 0,983370 \left[\frac{kg}{m_N^3} \right]$$

Dynamická viskozita spalin

η – dynamická viskozita spalin

$$v = \frac{\eta}{\rho}$$

Kinematická viskozita ν , někdy označená jako kinetická, je poměr dynamické viskozity a hustoty spalin

Bereme v úvahu kinetickou viskozitu $\nu = 0,00003 \text{ m}^2/\text{s}$ [3]

$$\eta = \nu \cdot \rho$$

Výpočet Reynoldsova čísla

$$\text{Re} = \frac{\nu_{\text{spalinK3}} \cdot D_{\text{K3}} \cdot \rho_{\text{spalK3}}}{\eta}$$

$$\text{Re} = \frac{\nu_{\text{spalinK3}} \cdot D_{\text{K3}} \cdot \rho_{\text{spalK3}}}{\nu \cdot \rho_{\text{spalK2}}}$$

$$\text{Re} = \frac{17,9 \cdot 2,6 \cdot 0,98337}{0,00003 \cdot 0,98337}$$

$$\text{Re} = \underline{\underline{1551333}}$$

Výpočet součinitele tření (λ) podle Reynoldsova čísla [3]

$$\lambda = 0,0054 + 0,396 \cdot \text{Re}^{-0,3}$$

$$\lambda = 0,0054 + 0,396 \cdot 1551333^{-0,3}$$

$$\lambda = 0,010902$$

Předpokládaná délka kouřovodu v úseku K3:

- Délka $L = 100 \text{ m}$
- Segmentová kolena 90° , množství 3 ks

Pozice 2 - Segmentové koleno 90°

$\zeta_1 = 0,5[\text{Pa}]$ pro $D/R = 1$ množství segmentů - 3

Tlaková ztráta pro K3

$$\Delta p = \frac{\nu^2 \cdot \rho}{2} \cdot \left(\lambda \frac{L}{D} + \zeta_1 + \zeta_2 + \dots \right) [\text{Pa}]$$

$$\Delta p_{\text{K3}} = \frac{17,2^2 \cdot 0,98337}{2} \cdot \left(0,010902 \cdot \frac{100}{2,6} + (0,5 \cdot 3) \right)$$

$$\Delta p_{\text{K3}} = \underline{\underline{302,37[\text{Pa}]}}$$

Celková tlaková ztráta mezi body A a B - Δp_{AB}

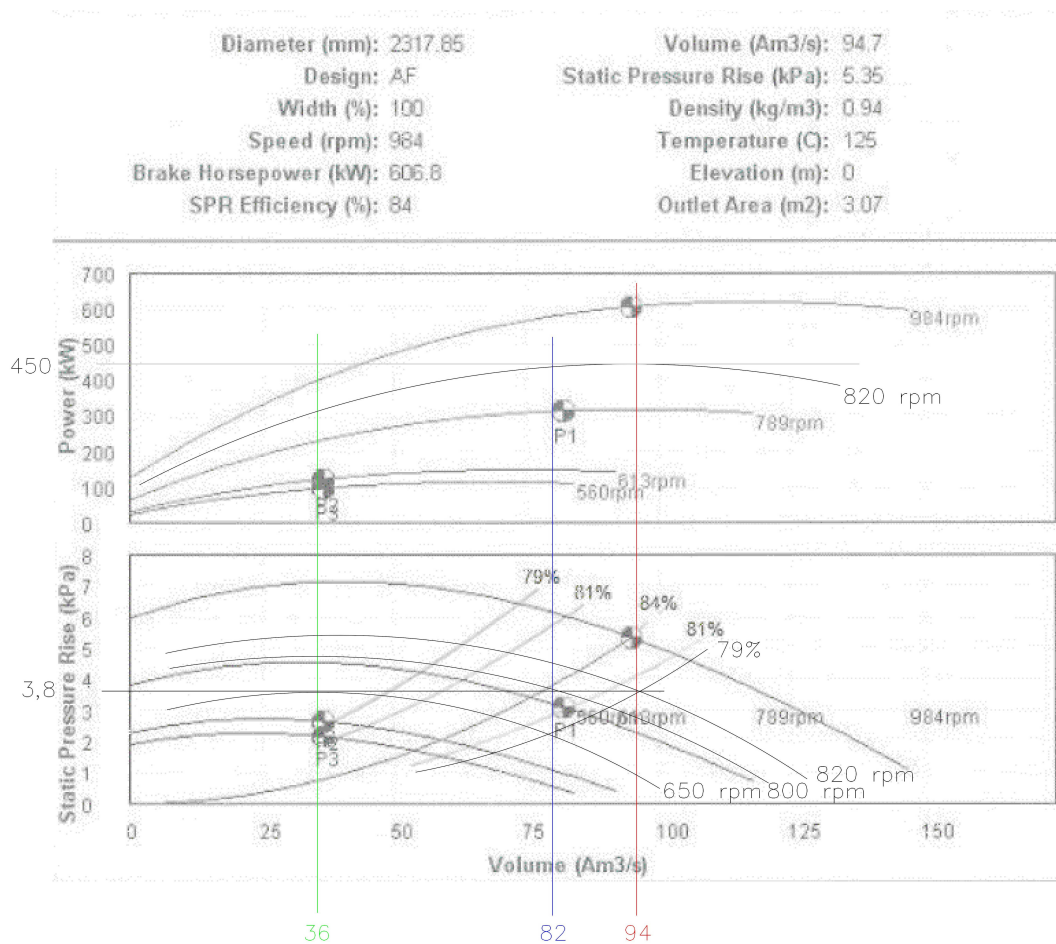
$$\Delta p_{AB} = \Delta p_{K1} + \Delta p_R + \Delta p_{TF} + \Delta p_{K2} + \Delta p_{K3} [Pa]$$

$$\Delta p_{AB} = 323,3 + 1500 + 1600 + 87,41 + 302,37$$

$$\underline{\underline{\Delta p_{AB} = 3813,08 [Pa]}}$$

7.1.4. Parametry nového ventilátoru

- Maximální parametry spalin (dočasné zatížení)
 - objem vlhkých spalin $V_{Vmax} = 253\,000\,m_N^3/h$
 - objem skutečných spalin pro $95^\circ C$ $V_{Smax} = 341\,050\,m^3/h$
 - $V_{Smax} = 94,73\,m^3/s$
- Jmenovité parametry spalin
 - objem vlhkých spalin $V_{Vjm} = 210\,000\,m_N^3/h$
 - objem skutečných spalin pro $95^\circ C$ $V_{Sjm} = 295\,000\,m^3/h$
 - $V_{Sjm} = 81,94\,m^3/s$
- Minimální parametry spalin
 - objem vlhkých spalin $V_{Vmin} = 95\,000\,m_N^3/h$
 - objem skutečných spalin pro $95^\circ C$ $V_{Smin} = 131\,240\,m^3/h$
 - $V_{Smin} = 36,45\,m^3/s$
- Celková tlaková ztráta $\Delta p_{AB} = 3,813\,kPa$
- Jmenovitý příkon elektromotoru $P = 450\,kW$
- Minimální otáčky $n_{min} = 650\,ot/min$
- Jmenovité otáčky $n_{jmen} = 800\,ot/min$
- Maximální otáčky $n_{max} = 820\,ot/min$
- Pracovní rozsah teplot $t = 80^\circ C \div 125^\circ C$
- Úroveň napájení $6\,kV$



Obrázek 7.4 – Charakteristika ventilátoru

8. Způsob nakládání s vedlejšími energetickými produkty kotle K 3 a 4 při použití nové metody snižování emisí SO₂

8.1 Škvára a popílek

Složení škváry ani popílku nebude novou technologií odsíření ovlivněno. Nadále bude odváděna do sacích jímek bagrovacích čerpadel a poté čerpána na odkaliště č. 1, 2. Po naplnění odkaliště se bude ukládat na skládku jak odpad.

8.2 Vedlejší produkt po odsíření (VPR)

8.2.1 Popis VPR

Směs vedlejšího produkt po odsíření je suchý prášek, šedobílé barvy. Díky nízkému obsahu vody ($1 \div 3\%$ váhově H_2O) je snadno odstranitelný (z reaktoru i látkového filtru), snadně přesypatelný a dobře dopravovatelný.

8.2.2 Fyzikální vlastnosti VPR

Směs vedlejších produktů po odsíření produktu VPR vznikající při polosuché vápenné metodě odsíření je velmi hrubá, což může být příčinou eroze na některé části instalace. Dalším charakteristickým znakem je že, sloučenina je adhezní a hydroskopická, což znamená, že v případě kdy není tato zabezpečena před vlhkostí, způsobuje přilnutí nebo hromadění v rozích a ohybech rozvodů spalin v komorách, stejně jako v dopravním zařízení.

Velikost částeczek sloučenin z polosuché vápencové metody odsíření jsou většinou v rozmezí $d = 1 \div 50 \mu m$.

Objemová hmotnost VPR závisí na množství popílku, obsahu vlhkosti, stupni zhutnění a znečištění způsobené znečištěním neodsířenými spalinami. Volně ložená sloučenina má hustotu v rozmezí $400 \div 700 \text{ kg/m}^3$ a zhutněná potom od $750 \div 1050 \text{ kg/m}^3$.

8.2.3 Chemické vlastnosti VPR

Jakostní složení VPR viz Tabulka č. 8.1.

| Sloučenina | Jednotka | Rozsah | Průměr |
|--|----------|------------|--------|
| $\text{CaSO}_3 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ | % váhově | 45 ÷ 70 | 50, 0 |
| $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ | % váhově | 5 ÷ 30 | 15, 0 |
| $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ | % váhově | 2 ÷ 10 | 6, 0 |
| CaF_2 | % váhově | 1 ÷ 3 | 2, 0 |
| CaCO_3 | % váhově | 6 ÷ 20 | 13, 0 |
| $\text{Ca}(\text{OH})_2$ | % váhově | 1 ÷ 15 | 8, 0 |
| Inertní materiál | % váhově | 1 ÷ 5 | 3,0 |
| Polétavý prach | % váhově | 0,5 ÷ 3 | 1,5 |
| Vlhkost | % váhově | 1, 0 ÷ 3,0 | 1,5 |

Tabulka 8.1 - Jakostní složení VPR

VPR v suchém stavu nemá na ocel korozní vliv. V případě zvlhnutí tohoto produktu, například působením atmosférické vlhkosti, může dojít ke vzniku koroze působením (CaCl_2) – chloridem vápenatým.

8.2.4 Skladování VPR

Na základě výzkumu a rozboru směsi vedlejšího produktu po odsíření VPR vznikajícího jako odpad při polosuché vápencové technologii odsíření, který byl uložen v různých lokalitách a státech, se ukazuje, že může být bezpečně skladován jednak jako podkladový vodonepropustný materiál například při závozu odpadů, dále do nepoužívaných šachet atd. a to bez nutnosti použít dalších technologií (jako jsou například: překrytí plastickými foliemi, betonováním atd.). V průběhu doby, kdy jsou tyto VPR uskladněny, dochází k jejich postupné samočinné stabilizaci, v důsledku čehož se zvětšuje jejich charakteristika ke stlačování, čímž se zvyšuje jejich nepropustnost vody.

8.2.5 Využití VPR

Směs vedlejšího produkt po odsíření (VPR), vzniklý z polosuché vápencové metody může být využitý následujícím způsobem:

- Stabilizační přídavek použitý při skladování polétavého prachu vzniklého při odlučování prachu v průmyslu.
- Přídavek do sorpční emulze v technologii mokrého odsíření vápennou metodou, která umožňuje snížení spotřeby sorbentu a zvýšení výroby energo sádrovce.
- Přídavek jako plnivo do betonu (při výrobě betonových prefabrikátů jako jsou obrubníky atd.).
- Přídavek do cementu.
- Použití jako podkladový materiál použitých při výstavbě cest, při ukládání potrubních systému vodního a plynového potrubí do země.
- Použití jako plnivo pro výrobu z různých plastických nebo minerálních hmot.
- Použití jako těsnící podklady při výstavbě nových budov, nebo funkčních skládek komunálních a průmyslových odpadů.
- Při tepelném zpracování, při kterém vzniká anhydrit, který je plnohodnotným ekvivalentem Energo sádrovce.

9. Závěr

Špatná kvalita ovzduší je nejtěživějším problémem životního prostředí současné Ostravy. Emise SO_2 v okrese Ostrava ze stacionárních zdrojů tvoří přibližně 50–60 % všech evidovaných emisí SO_2 v Moravskoslezském kraji. Celkové emise v kraji tvoří cca 12% emisí v ČR.

Oxidy síry jsou jedny z nejnebezpečnějších škodlivin vznikajících spalováním uhlí. Oxidy síry mají toxické vlastnosti na flóru i faunu již v malých koncentracích kolem 0,5 až 0,7 mg/m³. Zvýšená koncentrace SO_2 způsobuje u člověka obecně problémy s horními cestami dýchacími. Dále je prokázána snížená tvorba červených krvinek a u dětí je prokázáno zpomalení kostního zrání. Na flóru působí zvýšená koncentrace SO_2 dvojitým způsobem, a to přímo na rostliny, nebo nepřímo různými sírany v půdě. Působení SO_2 na flóru se projevuje blednutím a postupným hnědnutím listů až jejich následným odumíráním.

Vybraná polosuchá odsiřovací metoda pomocí fluidního reaktoru v kombinaci s novým látkovým filtrem, zajistí nejen plnění legislativních limitů při provozu koltů K 3, 4 ale i snížení tvorby TZL.

10. Seznam použité literatury

- [1] DLOUHÝ, T.: Výpočty kotlů a spalínových výměníků, Skripta ČVUT Praha 2002.
- [2] Vejvoda, J., Machač, P., Buryan, P.: Technologie ochrany ovzduší a čištění odpadních plynů. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2003, ISBN 03-334-17/03.
- [3] BACK, O.: Ventilátory – navrhování a výpočet, SNTL Praha 1955.
- [4] ČERMÁK, J. a kolektiv: Ventilátory, SNTL Praha 1974.
- [5] MAYER, J. a kolektiv: Energetická zařízení, SNTL Praha 1969.
- [6] Místní provozní a pracovní předpis ev. č. ETB-MPP-4.9/03.04 (1.7.2010).
- [7] Pajchl Miroslav – Bakalářská práce - Snížení emisí SO₂ práškového kotle K 14 ETB.

Internetové stránky

- [8] <http://www.solvaybicar.com/>
- [9] <http://www.vumo.cz/>
- [10] <http://www.vscht.cz>
- [11] <http://www.fsid.cvut.cz/>
- [12] <http://www.ostrava.cz>
- [13] <http://www.khsova.cz>

11. Seznam obrázku

Obrázek 2.1 - Schéma kotle

Obrázek 4.1 - Schéma mokré odsiřovací metody

Obrázek 4.2 - Schéma polosuché odsiřovací metody

Obrázek 4.3 - Schéma vstřiku a odloučení vápenného mléka po reakci

Obrázek 4.4 - Schéma suché aditivní vápencové metody

Obrázek 4.5 - Schéma odsíření hydrogenuhličitanem sodným za sucha

Obrázek 5.1 - Ztráta sdílením tepla do okolí [3]

Obrázek 6.1 - Schéma fluidního reaktoru a filtru

Obrázek 7.1 - Schéma stávajícího stavu

Obrázek 7.2 - Schéma umístění odsiřovací jednotky

Obrázek 7.3 - Schéma sekcí odsiřovací jednotky

Obrázek 7.3 – Charakteristika ventilátoru

12. Seznam tabulek

Tabulka 5.1 - Základní parametry černého uhelného prachu

Tabulka 5.2 – Ztráta chemickým nedopalem [3]

Tabulka 5.3 - Vlastnosti paliva a spalovací proces

Tabulka 5.4 - Charakteristika spalin vstupujících do jednotky odsíření

Tabulka 8.1 - Jakostní složení VPR

13. Seznam příloh

Příloha A – DP – 01- Odsiřovací jednotka K3, 4